Számítógépek alkalmazása a gyakorlatban

Számítógéppel integrált gyártás

Szerkesztette :
Dr. Horváth Mátyás
Dr. Markos Sándor

LSI Oktatóközpont
SZÁMALK

A SZÁMÍTÓGÉPEK GYAKORLATI ALKALMAZÁSA

SZÁMÍTÓGÉPPEL INTEGRÁLT GYÁRTÁS

Szerkesztette:

Dr. Horváth Mátyás **Dr. Markos Sándor**

Nyitott rendszerű képzés - Távoktatás - Oktatási segédlete

Felsőoktatási tankönyv

GÁBOR DÉNES FŐISKOLA
Budapest 2002

Készült a Művelődési és Közoktatási Minisztérium támogatásával

Lektor:

Dr. Erdélyi Ferenc **Dr. Kovács Magda PhD**

Szerzők:

Dr. Alpek Ferenc
Dr. Arz Gusztáv
Dr. Bali János
Dr. Farkas János
Dr. Filemon József
Dr. Horváth Mátyás
Dr. Iliász Dimitris
Dr. Lipóth András
Dr. Zatykó Sándor
Dr. Markos Sándor
Dr. Mátyási Gyula
Dr. Mészáros Imre
Dr. Nagy Sándor
Dr. Somló János
Dr. Szalay Tibor
Dr. Szegh Imre
Dr. Tóth István

ISBN 963 577 185 1

Kiadó: **LSI Oktatóközpont**

Felelős Vezető: **Dr. Kovács Magda**

Témafelelős: **Flier István**

TARTALOMJEGYZÉK

Tartalomjegyzék i
Bevezetés 1
1. A gépgyártástechnológia alapjai 7
1.1. A gyártási eljárások áttekintése, osztályozása 7
1.2. A gyártás tömegszerűsége és folyamatossága 8
1.3. A gyártási folyamat struktúrája 10
1.4. Az MKGSI rendszer 11
1.5. Az alakképzési folyamat 12
2. A gyártmány és technológiai sajátosságai 15
2.1. Az alkatrész geometriai modellje 16
2.1.1. A drótvázas modell 16
2.1.2. A testmodell 16
2.1.3. Felületmodellezés 17
2.1.4. A "feature" bázisú modellezés 22
2.2. Az alkatrész felületeinek szerepe a gyártmányban és a gyártásban 23
2.3. Előgyártmányok 24
2.3.1. Az előgyártmány méretei és alakja 24
2.3.2. Az optimális előgyártmány 24
2.4. A termék modellje 25
3. Forgácsoló szerszámgépek, ipari robotok 27
3.1. Forgácsoló szerszámgépek és ipari robotok kinematikájának alapjai 27
3.1.1. Forgácsoló szerszámgép mozgásrendszer alaptípusok, fordulatszám és előtolássorok 27
3.1.2. Ipari robot mozgásrendszer alaptípusok, mozgást leíró transzformációk 30
3.1.3. Az ipari robotok mozgástörvényei. A robotkarok kinematikája 32
3.2. Forgácsoló szerszámgépek és ipari robotok szerkezeti elemei, részegységei 35
3.2.1. Forgácsoló szerszámgépek szerkezeti elemei, részegységei 36
3.2.2. Jellegzetes ipari robot építőelemek 39
3.3. Forgástest jellegű alkatrészek megmunkálógépei 41
3.3.1. Az esztergák különféle automatizáltságú típusai 42
3.3.2. Az esztergáló központ 47
3.4. Szekrényes alkatrészek megmunkálógépei 50
3.4.1. Marógépek 50
3.4.2. Fúrógépek 54
3.4.3. Megmunkáló központok 55

3.5. Ipari robotok alaptípusai 58
3.6. Rugalmas gyártócella, gyártórendszer 63
4. Gyártóeszközök 69
4.1. A helyzetmeghatározás, bázisok 70
4.2. Készülékek 71
4.2.1. A munkadarab-befogó készülékek 71
4.2.1.1. Ülékek, támaszok 72
4.2.1.2. Szorító elemek 75
4.2.1.3. Szabványos befogó készülékek, szerszámgép tartozékok 75
4.2.2. Szerszámbefogó készülékek 79
4.2.3. Az építőszekrény elv alkalmazása a készülékezésben 80
4.3. Forgácsolószerszámok 81
4.3.1. Szerszámanyagok 82
4.3.2. Forgácsolószerszámok élgeometriája 88
4.4. Szerszámellátás, szerszámrendszerek 91
4.4.1 Szerszámok modellezése 91
4.4.2. Szerszámellátási körfolyamat elemei 92
4.4.3 Szerszámok bemérése, beállítása 93
4.4.4 Szerszámazonosítás 94
4.5. Készülékek automatizálása 94
4.6. Mérőeszközök 95
4.6.1. Hosszmérőrendszerek 95
4.6.2. Kétkoordinátás mérőműszerek 103
4.6.3. Háromkoordinátás mérőeszközök 104
4.6.4. Szögmérőeszközök 105
5. Szerszámgépek és robotok irányítása és programozása 107
5.1. Irányítás (vezérlés, szabályozás) 107
5.2. Szerszámgép- és robotvezérlések jellegzetes szerkezeti egységei 110
5.2.1 Programozható logikájú vezérlők 110
5.2.2. Helyzetszabályzó körök (szervohajtások) 111
5.2.3. Helyzetszabályozó körök mérőrendszerei 113
5.2.4. Interpolátorok 114
5.3.Szerszámgépek irányítása 115
5.3.1. Számjegyes vezérlések (NC) 116
5.3.2. NC vezérlések típusai 117
5.3.3. NC (CNC) vzérlések felépítése 120
5.3.4. DNC rendszerek 121
5.4. Robotok irányítása 122
5.4.1. Robotvezérlések típusai: 122
5.4.2. Pályavezérlésű robotok vezérlésének felépítése 123
5.5. NC szerszámgépek programozása 124
5.5.1. Koordináta-rendszerek, koordináta-rendszer transzformációk 124
5.5.1.1. Koordináta-rendszerek 125

5.5.1.2. Nullpont, nullponteltolás, koordináta-rendszer transzformáció, korrekciók 126
5.5.2. A programnyelv szerkezete 129
5.5.2.1. A CNC programokban előforduló utasítások 132
5.5.2.1.1. Programtechnikai és technológiai utasítások kódjai 132
5.5.2.1.2. Geometriai utasítások kódjai 134
5.5.3. Paraméteres programozás 139
5.5.3.1. A program szerkezete 139
5.5.4. Rögzített cikilusok 143
5.5.4.1. Fúrási, marási fix ciklusok 143
5.5.4.2 Marási ciklusok 148
5.5.4.3. Esztergálási ciklusok 149
5.5.4.4. Mérési ciklusok 153
5.6. Robotprogramozás 160
5.6.1. Koordináta rendszerek, interpolációs módok 161
5.6.2. Robotok geometriai modellje 162
5.6.2.1. Elemi transzformációk, homogén koordináták 162
5.6.2.2. Forgatás (rotáció) 164
5.6.2.3. Tárgyak leírása homogén koordinátákkal 167
5.6.2.4. Inverz transzformáció 169
5.6.2.5. Az orientáció jellemzése Euler-szögekkel 170
5.5.2.6. Orientáció jellemzése RPY szögekkel 172
5.6.2.7. Nem derékszögű koordináták 172
5.6.2.7.1. Hengerkoordináták 173
5.6.2.7.2. Gömbkoordináták 174
5.6.2.8. Relatív transzformáció és homogén koordináták 176
5.6.2.9. Transzformációk a kinematikai lánc mentén 177
5.6.2.10. Denavit-Hartenberg alak [7] 179
5.6.3. Robotprogramozás módjai 183
5.6.3.1. Robotnyelvek elemei és funkciói 184
5.6.3.1.1. Konstansok, változók, egyéb adatok 185
5.5.3.1.2. Mozgatási parancsok 185
5.6.3.1.3. Robotkézre és érzékelőre vonatkozó parancsok 187
5.6.3.1.4. Aritmetikai műveletek és egyéb funkciók 187
5.6.3.1.5. Programszervezés és alprogramok 188
5.7. A forgácsolási folyamat adaptív irányítása 189
5.7.1. Adaptív irányítási stratégiák 191
5.7.2. AC rendszerek felépítése 192
6. Megmunkálások 197
6.1. A forgácsleválasztás alapjai 197
6.1.1. A forgácsolás energetikai kérdesei 201
6.1.2. Szerszámelhasználódás 204
6.1.3. Szerszáméltartam 205
6.1.4. Megmunkálási idő 206

6.1.5. Felületi érdesség 206
6.1.6. Forgácsoló eljárások 208
6.2. Abrazív megmunkálások 220
6.2.1 Abrazív megmunkálások osztályozása 220
6.2.2 Abrazív szerszámok szerkezete 221
6.2.3. A forgácsleválasztás alapelvei köszörülésnél 227
6.2.4 Köszörűszerszámok elhasználódása és sza-bályozása 230
6.2.5. Abrazív megmunkálási eljárások 231
6.2.6 Szerszámélezés 235
6.2.7 Jellegzetes felületek köszörülése 236
6.3. Különleges megmunkálások 239
6.3.1. Termikus anyagleválasztási eljárások 239
6.3.2. Elektrokémiai megmunkálások 247
6.3.3. Kémiai megmunkálások, maratás 251
6.3.4. Folyadéksugaras megmunkálások 252
7. A termék minősége, a minőségirányítás elemei 255
7.1. A minőség jellemzői 255
7.2. A minőség jelentősége 256
7.3. A gyártási hibák áttekintése 260
7.4. A minőség javításának műszaki és szervezési módszerei 261
7.4.1. A minőség tervezése 261
7.4.2. Az ellenőrzés tervezése 263
7.4.3. Minőségbiztosítás a fejlesztésben és a tervezés-szerkesztésben 265
7.4.4. Minőségbiztosítás a gyártásban 269
8. Folyamatfelügyelet és diagnosztika 273
8.1 Alapfogalmak 273
8.2. Szenzorok, szenzorintegráció 275
8.3. Folyamatmérési feladatok és azok felhasználása 277
8.4. Jelfeldolgozás, jellemző generálás, válogatás 280
8.5 Tudásreprezentációk 281
8.6. Mesterséges intelligencia módszerek és alkalmazásuk 283
8.6.1. Az adattömörítés, lényegkiemelés módszerei 284
8.6.2. Az események modellezésének módszerei 286
8.7. Felügyeleti rendszerek 293
9. Alkatrészgyártás és szerelés 297
9.1. Alkatrészgyártás 298
9.1.1. Tengelyszerű alkatrészek gyártása 298
9.1.2. Tárcsaszerű alkatrészek gyártása 299
9.1.3. Házszerű alkatrészek gyártása 301
9.1.4. Hengeres fogaskerekek gyártása 302
9.1.5. Kúpos fogaskerekek gyártása 304
9.2. Szerelés 305
9.2.1. A szerelési tűrés biztosításának módszerei 307

9.2.2. Szerelési eljárások 311
9.2.3. Szerelési rendszerek 316
9.2.4. Szereléshelyes konstrukció 319
9.2.5. A szerelési folyamat tervezése 321
10. Gyártási folyamatok tervezése 331
10.1. A tervezés szintjei és feladatai 334
10.2. Egyedi, típus- és csoporttechnológiák 336
10.3. Számítógéppel segített folyamattervezés (CAPP) 338
10.3.1. A tervezés és a tudásreprezentáció elvei és módszerei 342
10.3.2. Tervezőrendszerek felépítése, integrált tervezőrendszerek 346
10.3.3. Szerszámmozgások tervezése 347
10.3.4. Az ember-gép kapcsolat eszközei 353
10.3.5. Belső nyelvek 354
10.3.6. Adat-és tudásbázis 355
10.3.7. Posztprocesszorok 356
11. A gépgyártás gazdaságtani alapjai 361
11.1. Gépgyártási idők és költségek 361
11.2. A gyártási folyamatok optimálásának matematikai modellje 364
11.2.1. Az optimumkeresés határai, a feltételrendszerek 364
11.2.2. A forgácsolási paraméterek meghatározásának céfüggvényei 370
11.2.3. A forgácsoló megmunkálás matematikai modelljének elemei 373
11.2.4. Optimumkeresés rögzített fogásmélység mellett 374
11.2.5. Az optimális fogásmélység meghatározása 379
11.2.6. Példa az optimális forgácsolási adatok meghatározására 380
11.3. Strukturális optimálás 383
11.4. A megmunkálási idő analizise 386
11.4.1. A gépi főidő csökkentése 386
11.4.2. A mellékidők csökkentése 389
11.4.3. Az előkészületi és befejezési idő csökkentése. 389
12. Számítógéppel integrált gyártás 391
12.1. Bevezetés 391
12.2. Számítógéppel irányított gyártórendszerek szerkezete és folyamataik 391
12.3. Gépterhelés számítása 395
12.4. Rendelésállományok meghatározása 396
12.5. Finomprogramozás 399
12.5.1. A feladat 399
12.5.2. Finomprogramozási módszerek 400
12.5.3. Prioritási szabályok 402
12.5.4. Prioritási szabályok jósága 405
12.5.5. Másodlagos optimálás 410

12.5.6.Finomprogramozási feladatok megoldása szakértőrendszerek alkalmazásával 415
12.6. Gyártási folyamatirányítás 416
12.6.1. Gyártási folyamatirányítási rendszer szerkezete 416
12.6.2. A MAP-TOP koncepció 418
12.7. Integrált rendszerek felépítése, részrendszerei 419
12.8. Gyártórendszerek programozása 422
12.8.1. A rendelés felvétele 423
12.8.2. A programnyelv 423
12.9. Gyártórendszerek működésének szimulációja 427
Tárgyszavak jegyzéke 431

JELÖLÉSEK JEGYZÉKE

FORGÁCSOLÁS

a	[mm]	fogásmélység - depth of cut -
α	[°]	hátszög - clearance angle -
A	[mm^2]	forgácskeresztmetszet - chip section -
b	[mm]	forgácsszélesség - with of chip -
C_T		éltartamállandó - tool life constant -
C_v		sebességállandó - cutting speed constant -
C_{Mc}		nyomatékállandó - cutting torque constant -
C_m	[Ft/min]	szerszámgép percköltsége - machine tool cost /time unit-
C_s	[Ft]	éltartamra eső szerszámköltség - tool life cost -
C_P		teljesítményállandó - cutting power constant -
C_{Ra}		felületi érdesség állandó - surface roughness constant -
β	[°]	ékszög - wedge angle -
d_m	[mm]	megmunkált átmérő - cutting diameter -
Δ	[mm]	halmozott szerszámkopás- summarized tool wear -
d_s	[mm]	szerszámátmérő - tool diameter -
h	[mm]	forgácsvastagság - chip thickness -
f, (s)	[mm]	előtolás - feed -
f_z	[mm]	fogankénti előtolás - feed per tooth -
f_s	[mm]	löketenkénti előtolás - feed per stroke -
f_a	[mm]	axiális előtolás - axial feed -
f_r	[mm]	radiális előtolás -radial feed -
γ	[°]	homlokszög - rake angle -
F_c	[N]	forgácsoló erő - main cutting force -
F_f	[N]	előtoló erő - feed force -
F_a	[N]	aktív erő (F_c és F_f eredője)- activ force -
F_p	[N]	passziv erőkomponens - passive force -
F_n	[N]	felületi normális irányú erőkomponens köszörűlésnél - normál grinding force -
F_s	[N]	Surlódási erő - friction force -
k	[N/mm^2]	fajlagos forgácsoló erő (fajlagos forgácsolási energia) - specific cutting force -
k_1		fajlagos forgácsoló erő főértéke - specific cutting force constant -
KT	[mm]	kráterkopás mélysége- crater wear -
l_c	[mm]	megmunkálási hossz - cutting length -
λ	[°]	terelőszög - inclination angle -
λ_h		forgácsalakváltozási tényező - chip compression -
M_c	[Nm]	forgácsoló nyomaték - cutting torque -
M_{max}	[Nm]	szerszámgép maximális nyomatéka- allowable spindle torque -
n	[ford/min]	fordulatszám - number of revolution -

η		hatásfok - efficiency -
P_c	[kW]	forgácsoló teljesítmény - cutting power -
P_m	[kW]	a szerszámgép maximális teljesítménye- machine tool power -
q	[cm^3/min]	anyagleválasztási sebesség - metal removal rate -
Q	[cm^3/min]	termelékenység - productivity -
θ	[°]	forgácsolási hőmérséklet - temperature -
R_a	[µm]	átlagos érdesség - surface rougness -
R_z	[µm]	elméleti érdesség magasság - theroretical surface rougness -
r	[mm]	szerszám csúcssugár - corner radius -
T	[min]	szerszáméltartam - tool life -
t_c	[min]	forgácsolási idő - cutting time -
t_m	[min]	megmunkálási idő - machining time -
t_s	[min]	szerszámcsereidő - tool changing time -
v	[m/min]	kerületi sebesség - velocity -
v_c	[m/min]	forgácsolási sebesség - cutting speed -
v_f	[mm/min]	előtolási sebesség - feedrate-
v_o	[m/min]	optimális forgácsolási sebesség - optimal cutting speed -
VB	[mm]	hátkopás -flank wear -
VB_m	[mm]	maximális hátkopás - maximal flank wear -
z		szerszámfogszám - tooth number -
x, y, z	[mm]	elsődleges lineáris koordináták - primary linear axis -
u, v, w	[mm]	másodlagos lineáris koordináták - secondary linear axis -
A, B, C	[°]	elsődleges rotációs koordináták - primary rotary axis -

t_a	[min]	alap idő - base time -
t_n	[min]	normaidő - manufacturing time -
t_{eb}	[min]	előkészületi és befejezési idő - preparing, finishing time -
t_{db}	[min]	darabidő - workpiece machining time -
t_f	[min]	főidő - machining time -
t_m	[min]	mellékidő - auxiliary time -
t_{psz}	[min]	pihenés ideje - relaxation time -
t_{ki}	[min]	gépkiszolgálási idő - machine delivery time -

MÉRÉSTECHNIKA

T_i	[mm]	tűrés - tolerance -
δ	[mm]	hiba - error -
δ_a	[mm]	alak hiba - shape error -
δ_m	[mm]	méret hiba - dimension error -
δ_r	[mm]	rendszeres hiba - regular error -
δ_v	[mm]	véletlen hiba - irregular error -
A_i	[mm]	méretlánc eleme - member of dimension chain -
A	[mm]	méretlánc záró tagja - closing part of dimension chain -

ABRAZÍV MEGMUNKÁLÁS

Z_n	[mm]	nagyolási ráhagyás - roughing allowance -
Z_s	[mm]	simítási ráhagyás - finishing allowance -
b_s	[mm]	köszörűkorong szélessége - with of the grinding wheel -
D_s	[mm]	köszörűkorong átmérője - diameter of the wheel -
v_s	[m/min]	köszörűkorong kerületi sebessége - grinding speed -
G		köszörülési viszony - grinding ratio -

FOGASKEREKEK, MENETEK

z		fogaskerék fogszáma - number of teeth -
t	[mm]	fogaskerék osztása - pitch -
α	[°]	kapcsolási szög - base angle -
h	[mm]	fogmagasság - heigth of the tooth -
h_f	[mm]	fejmagasság - heigth of the tooth head -
h_l	[mm]	lábmagasság - heigth of the tooth leg -
ω	[°]	szögsebesség - angular velocity -
i		hajtóviszony - driving ratio -
d_o	[mm]	osztókör átmérje - dividing diameter -
d_g	[mm]	gördülőkör átmérője -rolling diameter -
d_f	[mm]	fejkör átmérője -outside diameter -
d_l	[mm]	lábkör átmérje -bottom diameter -
m	[mm]	modul - modulus -
m_n	[mm]	normál modul - normal modulus -
m_h	[mm]	homlok modul - face moduluss -
x	[mm]	profileltolási tényező - profile modification coefficient -

SZERSZÁMANYAGOK

SS	szerszámacél - tool steel -
HSS	gyorsacél - high speed steeel -
HM	keményfém - hard metall, cemented carbide -
HMC	bevonatos keményfém - coated hard metall, coated cemented carbide -
CA	oxidkerámia - pure oxide ceramic -
CC	karbid keverék kerámia - mixed ceramic with carbide -
CO	egyéb keverék kerámia - other mixed ceramic -
CR	szálerősítésű kerámia - reinforced ceramic -
CBN	köbös bórnitrid - cubic boron nitrite -
PKD	polikristályos gyémánt - policrystalic diamond -
D	gyémánt -diamont

AUTOMATIZÁLÁS

CAE	számítógéppel segített műszaki fejlesztés - Computer Aided Engineering -
CAD	számítógéppel segített tervezés - Computer Aided Design -
CAM	számítógéppel segített gyártásirányítás - Computer Aided Manufacturing -
CAP	számítógéppel segített programozás - Computer Aided Programming -
PPS	termelés tervezés és ütemezés - Production planning and scheduling -
CAPP	számítógéppel segített technológiai folyamattervezés - Computer Aided Process Planning -
MRP	gyártási erőforrások tervezése, ellenőrzése - Manufacture Resource Planning
CAQ	számítógéppel segített minőségellenőrzés - Computer Aided Quality Assurance -
CAST	számítógéppel segített tárolás és raktározás - Computer Aided Storage and Transportation -
CIM	számítógéppel integrált gyártás - Computer Integrated Manufacturing -
FMS	rugalmas gyártórendszer -Flexibile Manufacturing System -
FAS	rugalmas szerelési rendszer - Flexible Asssembly System -
TQM	átfogó minőségellenőrzés - Total Quality Management -
MTM	mozdulatelemzéses munkatanulmányozás módszere - Method´s Time Measuring -
ACC	korlátalapú adaptív szabályozás - Adaptive Control Constrain -
AC	adaptív szabályozás - Adaptive Control -
ACL	tanuló adaptív szabályozás - Adaptív Control Learning -
ACO	optimáló adaptív szabályozás - Adaptív Control Optimization -
CLDATA	közbenső geometriai leíró nyelv - Cutter Location Data -
SPC	statisztikai alapú minőség ellenőrzés - Statistical Process Control -

BEVEZETÉS

Az ember legősibb alkotó tevékenysége, - amely a ma általános vélekedés szerint kiemelte az állatvilágból - a szerszámkészítés. "Szerszámot" állatok is használnak alkalmi jelleggel (egyes madarak és a majmok), de készíteni csak az ember tud. Az őskorban majdnem teljes "munkaidejét" a készítés töltötte ki, ma a gépiparban már csak kb. 3%-át, a többit az alkalmazásra fordítja.

A technológia (eredete a görög technos szó) látványos utat járt be a pattintott kő- és csontszerszámokkal végzett faragástól a szintetikus anyagokból (gyémánt, bórnitrid) készült, 5 nanométer éllekerekítési sugarúra élezett forgácsolószerszámokkal végzett megmunkálásig. Túlzás nélkül állíthatjuk, hogy a technológia - s benne a gépgyártástechnológia - az emberiség egyik nagy átfogó kultúrkincse. A techno-lógia kifejezést mi az angolszász nyelhasználatban szokásosnál szűkebben értelmezzük. A termékek - legyenek azok objektumok vagy rendszerek, tárgyiasultak vagy szellemiek - készítésének, gyártásának tudományát, technikáját és gyakorlatát értjük technológián.

A történelem előtti és a történelmi idők kézművességétől, a céhekben, manufaktúrákban végzett munkán át a fejlődés elvezet a korszerű, automatizált gyártásig. Az első forradalmi változást - a közlekedés mellett - a gyártásban is a gőzgép alapozta meg, lehetővé téve a gépi erőre épülő nagyüzemek kialakítását. A villamos energia, valamint a tervezés és szervezés tudományos igényű alkalmazása tette lehetővé a XX. század elején a tömeggyártás (szalagszerű szerelés, mechanikus automaták) létrehozását. Az automatizált tömeggyártás fejlődésének csúcspontját a XX. század közepére érte el, amikor merev programokra alapozva egyetlen termék előállítására teljesen automatikus (ember nélküli) gyárak jelentek meg kísérleti jelleggel.

Az újabb forradalmi változást századunk közepén az elektronika, a számítástechnika, általánosabb értelemben az informatika alkalmazása tette lehetővé. 1952-ben készült el az első kísérleti számjegyes vezérlésű (Numerical Control, NC) marógép, amely a lyukszalagon tárolt program cseréjével könnyen átállítható volt lényegében tetszőleges munkadarabok gyártására, mivel egyszerű, "szabványos" szerszámok alkalmazásával ügyes és gyors mozgások révén alakította ki a különböző - egyszerű vagy bonyolult - felületeket. Ma már az NC gépekben nagyteljesítményű számítógépek működnek (így CNC-vé alakultak, ahol a C: a computer jele) forgácsoló és alakítógépekben, robotokban, szerelőautomatákban s így kialakult a rugalmas automatizálás. A termelés tömeg-szerűségétől függetlenül, a sorozat és egyedi gyártásban is gazdaságossá vált az automatizált gyártás. Ez az új gyártási kultúra lehetővé teszi a vevő igényeinek gyors és szinte korlátlan kielégítését s megváltoztatta a tömeggyártást is: a CNC és az informatika alkalmazása ma már a tömeggyártásban is általánossá vált, és így - bizonyos határok között - akár egyenként változtatható a termékek (pl. gépkocsi) felszereltsége, színe stb.

Teljesen átalakult a gépgyártás technológiája, olyannyira, hogy napjainkat legtalálóbban a technológiai forradalom koraként jellemezhetjük. A korábban főként tapasztalati -

kísérleti alapokra épülő szakterület ma már nem nélkülözheti a legszélesebb természettudományos alapokat, az informatika, a rendszertechnika, az elektronika és az irányítástechnika legújabb eredményeit.

A mai gyártóberendezések akár a mechatronika reprezentánsaként is értékelhetők, hiszen a szerszámgépekben, robotokban megvalósul az elektronikus kinematikai lánc, a mozgásokat intelligens vezérlés irányítja és szinkronizálja, a végrehajtást intelligens szenzorok ellenőrzik, módosítják.

A technológiai forradalom legfontosabb jellemzői: a minőségnek idestova a fizikai határokig történő növelése, új, összetett hatásmechanizmusú és komplex eljárások kifejlesztése, az automatizálás, a számítógéppel integrált gyártás, a gyártás irányításába beépített intelligencia növekedése, a termelés műszaki-gazdasági optimálása, a gyors reagálás a vevői igényekre, a készletek csökkentése és az átfutási idők drasztikus lerövidítése.

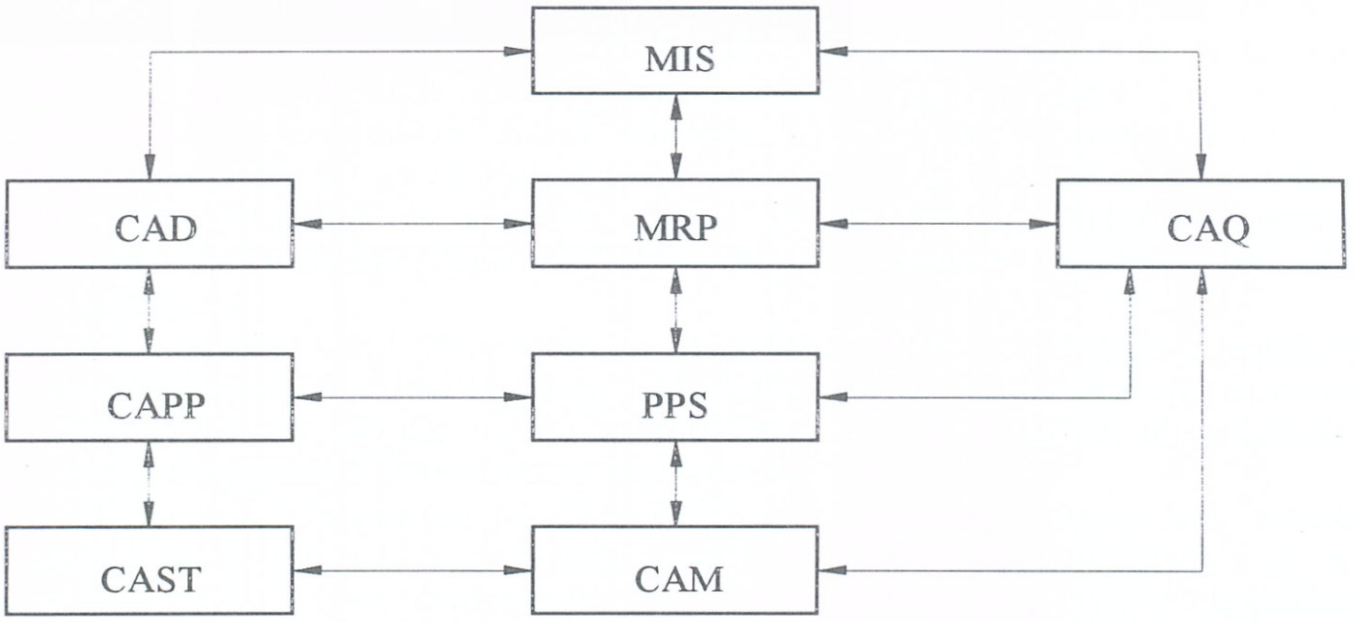
A minőség növekedése a felhasznált anyagok tisztaságában, tulajdonságaik definitségében, a munkadarabok pontosságának és a felületi rétegtulajdonságaikat jellemző paraméterek javulásában jelenik meg. Kialakult a szubmikronos gyártás, a nanotechnológia, ahol a tű-réseket már nanométerekben fejezik ki, s már megjelentek az első utalások a pikotechno-lógia közeli megvalósulására. A mérnök már nem a mikrométer, hanem a nanométer előtt emeli meg a kalapját. Ma már "szokványossá" vált a néhány tucat nm-es méret- és alakhűségű és néhány nm-es átlagos érdességű felület kialakítása esztergálással.

Bevonultak a gyártásba a nagy energiasűrűségű "sugaras" megmunkálások. A lézer, a plazma, az ultrahang, a vízsugár ma már szinte "hagyományossá" váló eljárások "szerszámává" vált. Lézerrel vágunk, hőkezelünk, sőt ma már marunk is! A nyomdaiparban használatos kétdimenziós litográfia térbelivé fejlesztésével alakult ki a sztereolitográfia, amely folyékony polimerből lézerimpulzusok segítségével szilárd műanyag alkatrészek előállítására szolgál. Kialakult a mikrotechnika az integrált áramkörök gyártási technológiájának háromdimenzióssá alakításával: olyan hajtóművek, motorok készülnek ezzel az eljárással, amelyek befoglaló méretei századmilliméter, az alkatrészek (pl. fogaskerekek) méretei pedig mikrométer nagyságrendűek.

A rugalmas automatizálás az NC (CNC) szerszámgéppel kezdődött. A szerszámok gépen való tárolásával és automatikus cseréjével kialakult a megmunkáló központ (MK), (Machining Center, MC), majd a munkadarabok automatikus tárolásával és cseréjével a rugalmas (flexibilis) gyártócella (RGYC), (Flexible Manufacturing Cell, FMC). RGYC-ket irányítási hálózattal összekötve és a szállítás - raktározás automatizálását is megoldva épül ki a rugalmas (flexibilis) gyártórendszer (RGYR), (Flexible Manufacturing System, FMS).

Informatikai modulokkal kiegészítve lokális hálózatok segítségével épül fel a számítógéppel integrált termelés (SzIT), (Computer Integrated Manufacturing, CIM), amely a gyáron belüli funkciók és a külvilággal való kapcsolatok nagy rendszerré integrálódásának kiteljesülése.

A MIS a vállalatvezetést látja el információval és segíti döntéseiben (B.1. ábra), a CAD a termék - és gyártóeszköztervezést, a CAPP a gyártási folyamatok, a CAST a szállítás-raktározás tervezését szolgálja, a CAQ a minőségszabályozás, a PPS a termeléstervezés



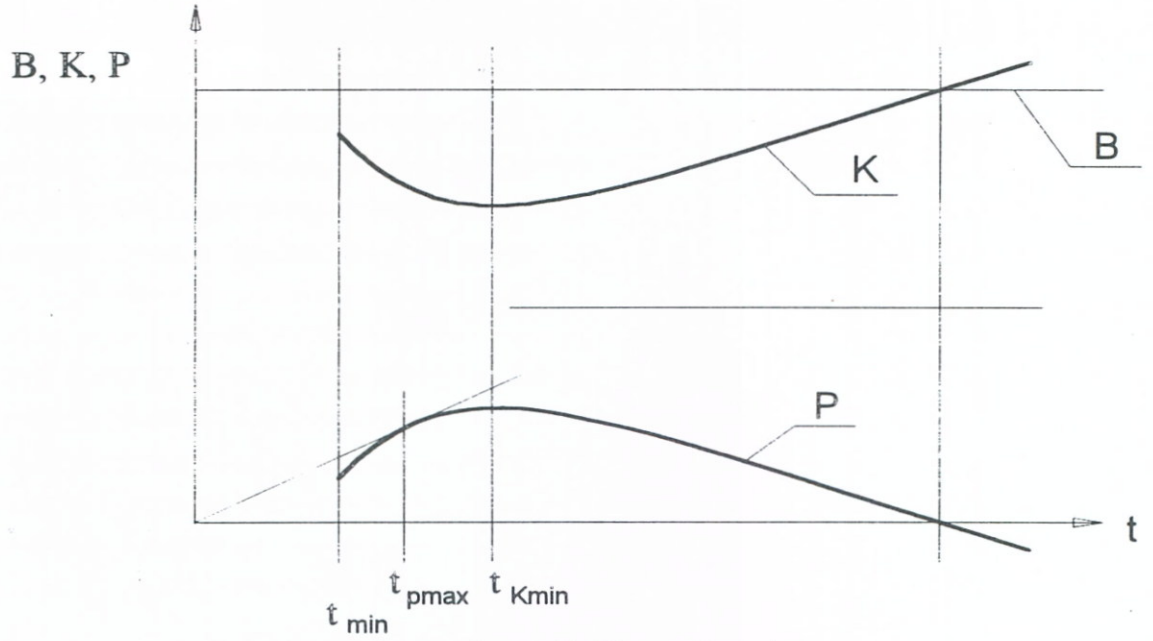
B.1: ábra. A azámítógéppel integrált termelés struktúrája

és - ütemezés, az MRP a gyártási-termelési erőforrások tervezésének eszköze, a CAM a számítógéppel segített gyártás.

Az integráció mellett a másik talán legszembetűnőbb sajátossága a korszerű gyártásnak, hogy beleépül az intelligencia, a korábban felhalmozott tudás befogadásának és hasznosításának, a tanulásnak, azaz a tudás gyarapításának, a bonyolult helyzetekben való döntéshozatalnak a képessége. Ennek első megjelenési formája a szerszámgépek adaptív irányítása (Adaptive Control, AC) volt, amely a folyamat jellemzőinek mérése alapján a változó feltételekhez igazítja a megmunkálási paramétereket. Ugyanazok a szenzorok alkalmasak a folyamat automatikus felügyeletéhez (hibák detektálása, diagnosztizálása és elhárítása) szükséges információk megszerzésére is. A szenzorok információinak feldolgozása a felügyeleti rendszer feladata.

A berendezések, a cellák és gyártórendszerek vezérlésébe beépült tudás és tanulás képessége részint "hagyományos" alakban (algoritmusok, adatbázisok), részint "új" alakban (szakértői rendszerek, mesterséges neurális hálózatok, fuzzy-logika) jelenik meg. Ez a beépített mesterséges intelligencia teszi képessé a legújabb gyártórendszereket az emberi felügyelet nélküli, vagy felügyeletszegény működésre. A mesterséges intelligencia alkalmazásának olyan nagy jelentőséget tulajdonítanak, hogy ma már általában intelligens gyártórendszerekről (Intelligent Manufacturing System, IMS) szokás beszélni: a flexibilitás és az integráció magától értetődővé vált, a hangsúly az intelligenciára tevődött át.

A gyártás célja használható termékek előállítása, amelyek kielégítik a műszaki követelményeket (amelyek viszont a vevő igényeit tükrözik), és eladhatók. Gyártani viszont úgy kell és szabad, hogy az előállító vállalat gazdasági céljai is minél teljesebben megvalósuljanak. A vállalati célokat kifejező alapvető célfüggvények: a legrövidebb gyártási idő (t_{min}), hogy a termék minél előbb a vevőkhöz, vagy a további felhasználás helyére kerüljön; a termék előállításának legkisebb költsége (K_{min}), az egy terméken



B.2: ábra. Célfüggvények

realizálható legnagyobb nyereség (P_{max}) és végül az egységnyi idő alatt elérhető legnagyobb nyereség, a legmagasabb profitráta (p_{max}).

A terméken realizálható árbevétel (B) nem függ a gyártási időtől (B.2. ábra), azt a piaci viszonyok határozzák meg. A K költség a veszteségek nélkül értelmezett nettó gyártási idő növekedésével általában először csökken, majd újból növekedni kezd. Ez egyszerűen belátható, hiszen a nagy intenzitású, azaz gyors folyamatok jobban igénybe veszik a berendezéseket, gyártóeszközöket, emiatt a fajlagos költségek igen magasak. Nagyon leegyszerűsítve a problémát megállapíthatjuk, hogy általánosságban igaz a

$$t_{\min} \le t_{p\max} \le t_{K\min}$$

reláció, azaz a maximális profitrátát eredményező gyártási idő nagyobb a lehetséges legkisebbnél és kisebb a legkisebb költséggel járó gyártási időnél.

Mivel a profitráta

$$p = \frac{P}{t} \quad \text{és} \quad P = B - K$$

és a maximum szükséges feltétele, hogy

$$\frac{dp}{dt} = \frac{\frac{dP}{dt} \cdot t - P}{t^2} = 0 \text{ , így a } t_{p\max} \text{ – nál}$$

$$\frac{dP}{dt} = \frac{P}{t}$$

Az eredmény geometrialiag úgy interpretálható, hogy a p_{max}-hoz tartozó gyártási idő az origóból a P görbéhez húzott értintőegyenes segítségével határozható meg.

Az optimálás mint mérnöki feladat a gyártás tervezésének és irányításának minden szintjén felmerül.

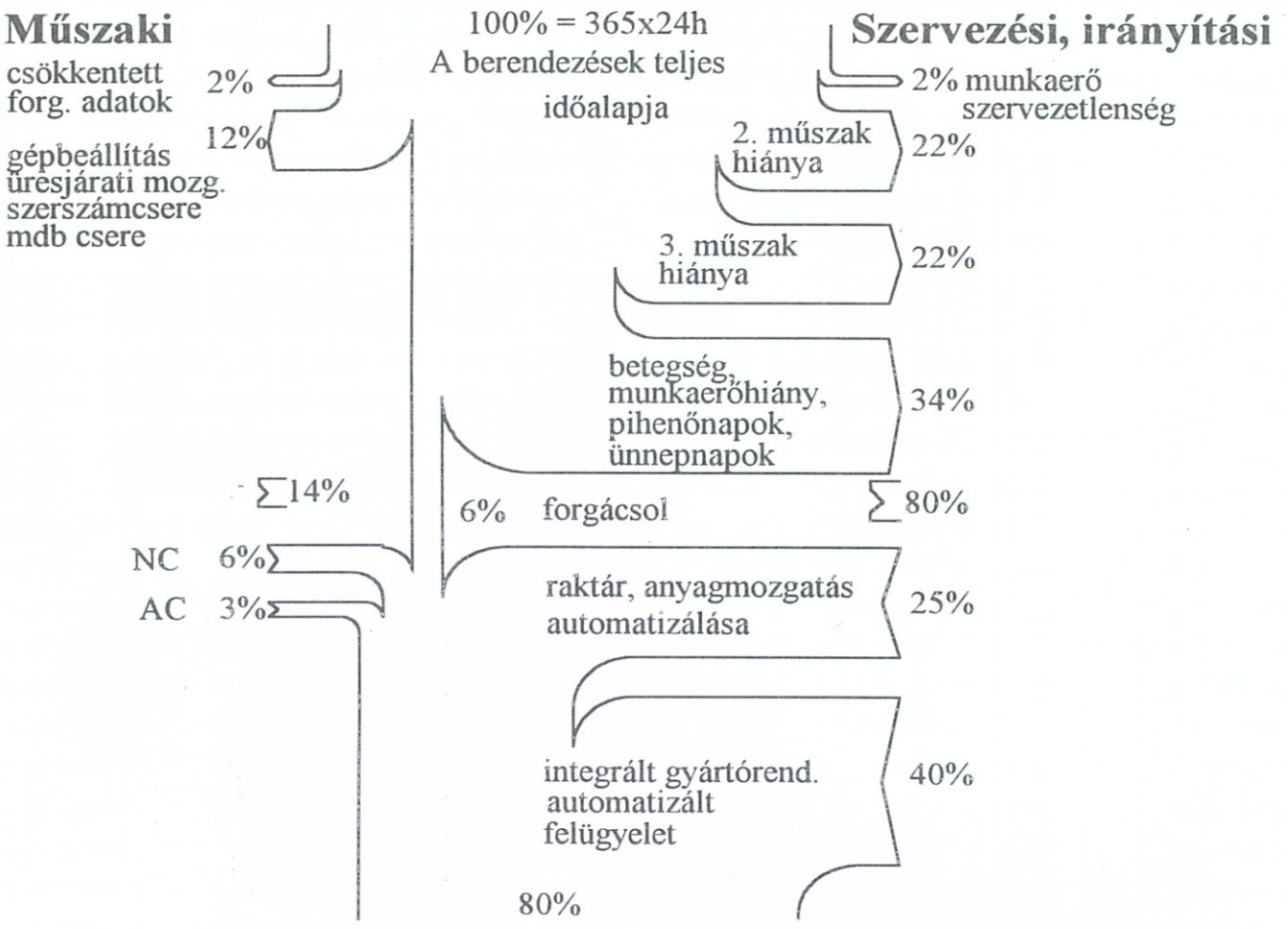
Struktúrális optimálásról beszélünk, ha a folyamatban alkalmazott eljárások, berendezések, vagy alkalmazásuk sorrendjének legjobbikát keressük: és parametrikus optimálásról, ha a folyamatok üzemi paramétereinek (pl. sebesség, előtolás, fogásmélység forgácsoláskor) legkedvezőbb értékét keressük. Az optimálás előidejű, ha a tervezés közben realizálódik és valósidejű, ha azt az irányító berendezés végzi. A feladat megoldásában általános és speciális, egzakt és heurisztikus eljárásokat egyaránt alkalmazunk, de az mindenképpen nagyteljesítményű informatikai rendszerek használatát teszi szükségessé.

A piacon a vevőért folyó versenyben az győz aki termelőberendezéseit a legteljesebb mértékben kihasználja, akinél alacsony a forgótőkét lekötő félkészállomány és akinél a legkisebb az átfutási idő. Ez utóbbi az az időszakasz ami a termék tervezésének és gyártásának megkezdése és leszállítása között eltelik.

Az 1970-es évek közepén az NSZK-ban felmérést végeztek, hogy a kézi vezérlésű forgácsoló szerszámgépek hogyan hasznosítják éves időalapjukat (365x24 óra), azaz mennyit tesz ki az az idő, amely alatt a gép ténylegesen forgácsol. Arra a meghökkentő eredményre jutottak, hogy az mindössze 6%, tehát különböző műszaki - szervezési okok, valamint a gépkezelő távolléte (munkaszüneti napok, második és harmadik műszak hiánya, betegség, szabadság stb) miatt időalapja 94%-ában a gép áll (B.3. ábra) Látható az ábrából, hogy intelligens gyártórendszerek alkalmazásával az időalap kihasználtsága 80%-ra, azaz a korábbiaknak több mint 13-szorosára növelhető, miközben a beruházások értéke alig néhányszorosra nő. Termékegységre vetítve gyakran a legdrágább intelligens gyártórendszerrel lehet a legolcsóbban gyártani és nyilvánvalóan gyorsabban is. Az IMS lehetővé teszi a termelés folyamatosságát, azt, hogy a félkész alkatrészek, részegységek állandóan mozgásban legyenek, ne legyenek elfekvő készletek, pontosan akkor érkezzenek a következő munkahelyre, amikor éppen munkába vehetik őket. Megvalósulhat a raktár nélküli gyár, a JIT (Just In Time) módszer, amelyben minden akkor érkezik a megfelelő helyre amikor kell. Sem nem előbb, sem nem később.

A B.1. ábrán a számítógéppel integrált termelés (gyártás) néhány fontos informatikai modulját tüntettük fel. Ezek külön-külön is általában igen nagy, bonyolult rendszerek, amelyek között rendkívül összetett kölcsönhatások, kölcsönkapcsolatok vannak. Természetesen az ipari vállalatok alkalmazzák a szélesebb körben használatos (irodai, üzleti, gazdasági stb) informatikai módszereket, eszközöket is. S ha azt is figyelembe vesszük, hogy az ipari termékekbe is egyre inkább "beépülnek" az informatikai modulok (ld. fedélzeti számítógép), akkor hihetővé válik, hogy a számítógéppel integrált intelligens gyártás az informatika (s nem csak a műszaki informatika) legösszetettebb, legigényesebb és legnagyobb léptékű alkalmazását jelenti. Úgy is fogalmazhatunk, hogy a korszerű ipari termelés (különösen a jellegzetesen háromdimenziós termékekkel operáló gépipari termelés) nem más, mint integrált anyag-, energia- és információfeldolgozó rendszer. Ha tehát az olvasó jártasságot szerez e rendszerek alkalmazásában, magabiztosan tud mozogni "egyszerűbb", "homogénebb" informatikai alkalmazási területeken is.

Éppen ezért ajánljuk jó szívvel ezt a könyvet mindenkinek, aki érdeklődik az informatika iránt, netán alkalmazza is munkájában, függetlenül attól, hogy az érdeklődés vagy az alkalmazás kapcsolódik-e a kifejezetten műszaki, ipari feladatokhoz vagy sem.



B.3. ábra: Szerszámgépek időalapja

A téma jellegéből eredően a könyv tartalmaz a gépgyártástechnológia tárgykörébe tartozó ismereteket is. Ez nélkülözhetetlen az alkalmazott informatikai rendszerek megértéséhez, hiszen azokkal tervezzük a gyártási folyamatokat, gyártóeszközöket és berendezéseket, programozzuk és irányítjuk a gépek, rendszerek működését, tesszük hatékonyabbá a termelést.

A szerzők igyekeztek a - szűkebben értelmezett - nem informatikai fejezeteket a lehető legtömörebben megfogalmazni, bízva abban, hogy azok még így is hasznosak lehetnek az informatika hatékonyabb alkalmazásában.

A SZERKESZTŐK

1. A GÉPGYÁRTÁSTECHNOLÓGIA ALAPJAI

A gépipari termelés rendkívül összetett tevékenység, sok résztvevővel, a vállalaton belüli és külső kooperációval. A piackutatásoktól a termék kiszállításáig tartó tevékenységsorozatnak csak egyik, de meghatározó jelentőségű része a gyártás. A vállalatirányítás, az erőforrásgazdálkodás, az adminisztráció stb. mind összetevője a termelésnek. A gépgyártástechnológia szemszögéből a gyártás műszaki előkészítése és maga a gyártás van a figyelem előterében.

A gyártás műszaki előkészítése a gyártmánytervezéssel kezdődik, majd a gyártási folyamatok és a gyártóeszközök tervezésével folytatódik. Maga a gyártás, azaz a termék elkészítésének fizikai folyamata akkor kezdődhet, amikor azt térben és időben is elhelyezték, azaz megtörtént a termelés tervezése és ütemezése is. Nyilvánvaló tehát, hogy a termelés a gyártásnál szélesebb, átfogóbb gyűjtőfogalom.

A szakmai terminológia megenged bizonyos szabadosságot: a gyártási folyamat helyett a technológiai folyamat kifejezést is gyakran használják; a gyártási folyamatok tervezése szinonimájaként kezelik a gyártástervezést és a technológiai tervezést is. Az alkatrészt gyártás közben munkadarabnak nevezzük szabatosan és csak kész állapotában lesz alkatrésszé, de készenléti állapotától függően a gyártás során előgyártmánynak is nevezzük.

1.1. A gyártási eljárások áttekintése, osztályozása

A gyártás a nyersanyagok munkábavételével kezdődik és a kész termék kiszállításával, üzembehelyezésével fejeződik be. A **termék feldolgozottsági foka,** készenléti állapota szerint a gyártási eljárások három csoportba sorolhatók:

- előgyártás;
- alkatrészgyártás;
- szerelés.

A három csoport néhány jellegzetes eljárása, a teljesség igénye nélkül:

ELŐGYÁRTÁS	ALKATRÉSZGYÁRTÁS	SZERELÉS
ÖNTÉS	FORGÁCSOLÁS	EGYESÍTÉS
HEGESZTÉS	KÖSZÖRÜLÉS	BESZABÁLYOZÁS
SAJTOLÁS	SZIKRAFORGÁCSOLÁS	FELÜLETKIKÉSZÍTÉS
KIVÁGÁS	BEVONATOLÁS	KONZERVÁLÁS
DARABOLÁS	HŐKEZELÉS	CSOMAGOLÁS
↓	↓	↓
ELŐGYÁRTMÁNY	ALKATRÉSZ	TERMÉK

Természetesen nincsenek éles határvonalak az egyes eljárások alkalmazásában, hiszen szereléskor is előfordul a forgácsolás, az alkatrészgyártásban is alkalmazzák a sajtolást stb.

A készültségi fok szemszögéből legjellegzetesebb, jól elkülöníthető termékállapotok: az előgyártmány, az alkatrész s végül a kész, összeszerelt termék

A munkadarab állapotváltozásai szemszögéből a gyártási eljárások legfontosabb osztályai:

- Anyagszétválasztó (pl. kivágás, darabolás)
- Anyagleválasztó (pl. forgácsolás, köszörülés)
- Anyagegyesítő (pl. hegesztés, forrasztás)
- Anyagépítő (pl. sztereolitográfia)
- Alakváltoztató (pl. sajtolás)
- Anyagtulajdonság-változtató (pl. hőkezelés)
- Bevonatoló (pl. galvanizálás)
- (Minőségszabályozó)
- (Helyező-illesztő)

Zárójelbe tesszük a két utolsó osztályt, mert a szokásos (hagyományos) osztályozó rendszerekben nem szerepel. Megítélésünk szerint a mérés-ellenőrzés-minősítés, a hibakompenzálás automatizálása, a munkadarab és szerszámcsere, szereléskor a munkadarabok kezelésének automatizálása (pl. robottal) indokolttá teszi e csoportok besorolását is.

A gyártási eljárások **hatásmechanizmusa** szerint mechanikai (pl. forgácsolás), kémiai (pl. galvanizálás), fizikai (pl. hegesztés) eljáráscsoportokat és a több elvet ötvöző kombinált eljárásokat különböztetünk meg. Az elektrokémiai eljárások esetében pl. az anyagleválasztás kémiai úton történik, a leválasztott anyagot pedig mechanikai úton (pl. köszörülés) távolítják el a munkatérből.

A gépipari gyártási eljárások jellegzetesen diszkrét folyamatok, ellentétben pl. a vegyipar eljárásaival, amelyek jellegzetesen folytonosak. A diszkrét jelleg azt jelenti, hogy a munkadarabok állapotváltozásai a gyártás során - időben és térben - szakaszosak és két szomszédos állapot (pl. nagyolt és simított felület) között a különbségek (méret, alak, felületi érdesség stb) jelentősek.

Ugyanakkor, a gépipari gyártási eljárásoknak vannak olyan szakaszai, amelyek folytonosként kezelhetők: pl. sajtoláskor a munkadarab alakja folyamatosan változik, forgácsoláskor a ráhagyást folyamatosan választjuk le. Ezt a tulajdonságot ki is használjuk a folyamatok irányításában (pl. AC).

1.2. A gyártás tömegszerűsége és folyamatossága

A különböző gépipari termékeket (de még az azonos rendeltetésűeket is) különböző mennyiségekben gyártják. Gombostűből a milliárd, kisfogyasztású közepes gépkocsiból a millió, luxusautóból a száz, óriási utasszállító repülőből a tucat, különleges szerszámgépből az egy darab a jellegzetes sorozatnagyság, amelyet a piaci kereslet

határoz meg. Minden termékhez tartozik egy jellegzetes tömegszerűség, s egy adekvát, a kor szinvonalán álló gazdaságos technológia.

Az **egyedi gyártást** az jellemzi, hogy minden termékből egyidejűleg csak egy darabot gyártanak, rendszerint egyetemes (univerzális) berendezésekkel, szerszámokkal, készülékekkel. Ennek szélső esete a soha vissza nem térő egyedi gyártás, amikor az adott termékből összesen egy darab készül. Természetesen ma már univerzálisnak tekintjük a CNC szerszámgépeket is, amelyeket az egyedi gyártásban is széles körben alkalmaznak.

Közepes tömegszerűség jellemzi a **sorozatgyártást**. Az elnevezés onnan ered, hogy a költségek minimalizálása céljából nem egyidejűleg indítják a teljes gyártandó mennyiséget, hanem azt kisebb tételekre, visszatérő sorozatokra (szériákra) bontják. A költségminimumhoz tartozó sorozatnagyságot a gépbeállítási költségek, valamint az eszközlekötési és raktározási költségek elemzésével találják meg. A gyártandó mennyiségtől függően kis-, közép- és nagysorozatgyártást különböztetünk meg. A határok itt sem élesek, a besorolás a termék függvénye. A sorozatgyártás jellegzetessége (volt) a félautomaták (pl. revolverezterga), a csoportszerszámok alkalmazása. A CNC technika természetesen ebbe a tömegszerűségi tartományba is bevonult.

A **tömeggyártást** a nagy mennyiség miatt az jellemzi, hogy az adott terméket a beindítás után huzamos ideig, szünet nélkül gyártják, egészen addig, amíg új típusú termékkel fel nem váltják.

Jellemző berendezései a merev programú automaták, gyártó-és szerelősorok, csoport- és programszerszámok (voltak), amelyek nem tették lehetővé a termék legkisebb módosítását sem (pl. Ford T-modell). Ma sikeresen ötvözik a tömeggyártás magas termelékenységét a CNC technika rugalmasságával: a gyártósorokon sokorsós szerszámfejeket automatikusan cserélnek, a szánok mozgását CNC vezérlés irányítja. Így válik lehetővé, hogy a tömegterméket is sok változatban gyárthassák.

A gyártás fontos jellemzője a folyamatosság is. Folyamatos gyártásról akkor beszélünk, ha a gyártásban lévő munkadarab, félkész termék szünet nélkül mozog vagy munkában van, nem fekszik el. Ilyenkor egy-egy termék kibocsátásának ritmusa, időintervalluma (ütemidő) nem, vagy csak kis mértékben haladja meg az elkészítéshez szükséges tiszta (nettó) időszükségletet (normaidő). Szakaszos a gyártás, ha az ütemidő a normaidő sokszorosa, mert a gyártásban szünetek vannak, a munkadarabok a gépek között, vagy a félkész raktárakban huzamosabb ideig várnak további sorsukra. A merev programú automatizálás előtti időben csak a tömeggyártás lehetett folyamatos, ma a rugalmas automatizálás korában viszont akár az egyedi is az lehet. A folyamatosság lehetővé teszi a raktárkészletek, a forgótőke csökkentését (JIT, raktár nélküli gyár). A japán autógyárak szereldéi alig néhány órás alkatrész és részegység készlettel működnek. Kimutatták, hogy az USA gépiparában a JIT technika általános bevezetése kb. 20%-os költségcsökkenést eredményezne. Hazai gépiparunkban, amelyet a sokkal nagyobb raktárkészletek jellemeznek a megtakarítás még nagyobb lenne.

Jeleztük, hogy a folyamatosság ma már nem a tömeggyártás kizárólagos jellemzője, de - mivel a CIM, az IMS még csak szűkebb körben terjedt el - ma még van kapcsolat a tömegszerűség és a folyamatosság között, s így az ütemidő és a normaidő hányadosa megbízható támpont lehet a gyártás besorolásához.

Legyen a tömegszerűségi együttható

$$T_0 = \frac{t_ü}{t_N} \qquad (1.1)$$

ahol

$t_ü$ - ütemidő
t_N - átlagos normaidő

Egyedi, kissorozat gyártásban : $T_0 > 20$
Középsorozat gyártásban: $10 \leq T_0 \leq 20$
Nagysorozat gyártásban: $2 \leq T_0 < 10$
Tömeggyártásban: $T_0 < 2$

Ismételten hangsúlyozzuk, hogy ez a módszer a legkorszerűbb IMS-ekben már nem alkalmazható. "Hagyományos" környezetben viszont jól tükrözi nem csak a tömegszerűséget, hanem a termelés gazdaságosságát is.

1.3. A gyártási folyamat struktúrája

A jellegzetesen diszkrét gépipari gyártási folyamatok tervezése és elemzése különböző mélységű, részletességű lehet a gyártó berendezés irányításának képességei és az aktuális feladat függvényében. A folyamat jól átgondolt struktúrálása jelentősen megkönnyítheti a feladat megoldását.

A gyártási (előgyártási, alkatrészgyártási, szerelési) folyamat legkisebb elkülöníthető egysége (" atomja ") a gépi vagy emberi **mozdulatelem.** Példa: Jobb kezet kinyújt.

Több mozdulatelem sorozatából áll össze a **mozdulat**, amely a legkisebb önállóan kezelhető összefüggő gépi vagy kézi tevékenység. Példa: Meghatározott tömegű munkadarabot mozgat meghatározott távolságra bizonyos pozicionálási pontossággal (pl. készülékbe helyez). A mozdulatelemzés lehetővé teszi a főként kézi tevékenységek időigényének a meghatározását, a munkahely elrendezésének, a munka kivitelezésének ésszerűsítését, könnyítését a termelékenység növekedése mellett is.

A műveletelem több mozdulatból tevődik össsze. (Pl.a munkadarabot a készülékbe helyez és megszorít). Általános jellemzője, hogy végrehajtása meghatározott szerszámmal történik a munkadarab azonos típusú felületein. Forgácsolás esetén jellegzetes példája: összefüggő ráhagyás eltávolítása esztergálással.

Több műveletelemből épül fel a **művelet**, amelynek alapvető jellemzője, hogy egy gépen, a munkadarab azonos helyzetében (egy befogásban) hajtják végre, és tartalmazhatja a gépi és kézi (pl. munkadarab be- és kifogása) műveletelemeket is.

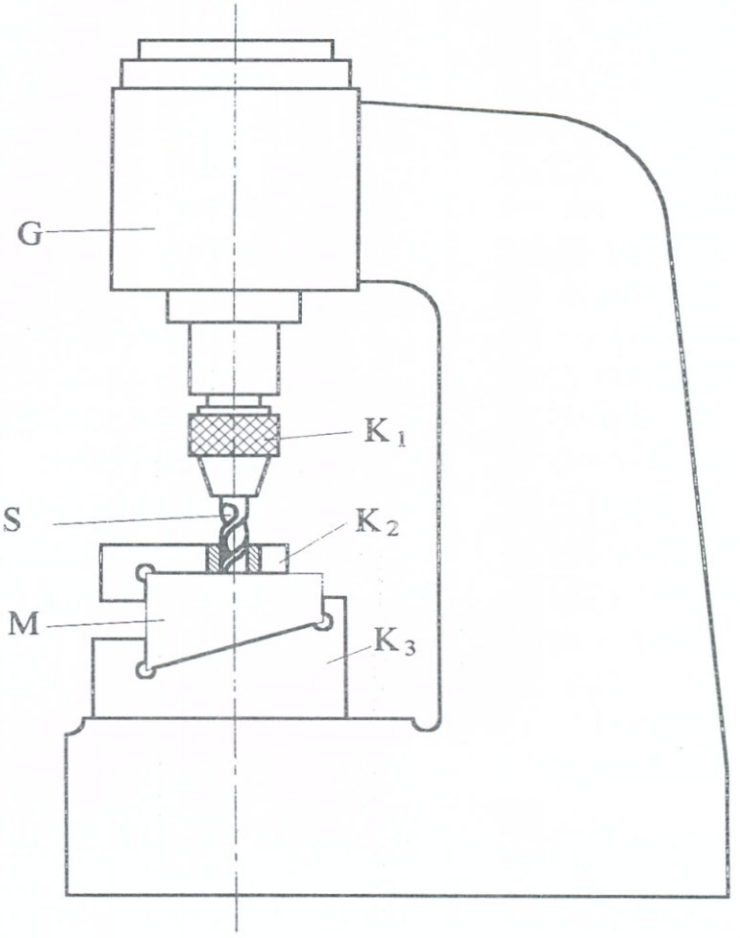
A műveletelem és a művelet a tervezés és irányítás alapvető építőkockái. A műveletelem két összetevője a szerszámok mozgáspályája és a mozgásjellemzők (sebesség, előtolás), így ez a parametrikus optimálás alkalmazási terepe. A műveleteken belül a műveletelemek végrehajtási sorrendje határozza meg a művelet struktúráját. A műveletben testesül meg a megmunkáló rendszer, amelyben vizsgálhatók a munkadarab, a készülék, a gép, a szerszám és a vezérlés kölcsönhatásai.

Több összefüggő műveletből áll a gyártási **szakasz**, amely a technológiai folyamatoknak azon része, amelynek során és eredményeként a munkadarab felületei azonos készültségi állapotba kerülnek (pl. mindegyik nagyolt, vagy simított, nemesített stb. állapotba). A szakasz - mint összefüggő részfolyamat - segít a folyamattervezési feladat dekompozíciójában, a feladat részfeladatokra bontásában, a folyamat optimálásában, mivel a műveletek sorrendisége gyakran csak egy-egy szakasz határain belül variálható, a szakaszok sorrendisége viszont célszerűen vagy szükségszerűen kötött.

Az alkatrészgyártási folyamat több szakaszból épül fel. Hasonló tulajdonságú az előgyártás és a szerelés is. E három legnagyobb szintű részfolyamat együtt alkotja a teljes gyártási folyamatot.

1.4. Az MKGSI rendszer

Az alkatrészgyártásban a megmunkálás (forgácsoló, alakító, vagy nem hagyományos) szerszámgépen történik. A munkadarabot rendszerint készülékben rögzítik, a szerszám a géphez szerszámbefogó készülék közvetítésével csatlakozik. Bizonyos esetekben a szerszámnak a munkadarabhoz viszonyított helyzetét szerszámvezető készülék határozza meg. (1.1. ábra) Az ábrán a G a szerszámgépet, a K_1 a szerszámbefogó, a K_2 a szerszámvezető, a K_3 a munkadarab befogó készüléket, az S a szerszámot, M a munkadarabot jelöli. Az ábrán nem feltüntetett I irányítás lehet kézi, vagy automatikus. Ezt a megmunkáló rendszert nevezzük Munkadarab-Készülék-Gép-Szerszám-Irányítás- rendszernek, azaz MKGSI rendszernek. Ez a rendszer a folyamat modellezésének az alapja, segítségével elemezhetjük megmunkálás közben az együttes statikus és dinamikus jellemzőit, az alakképzési folyamatot, a megmunkálás pontosságát, a fellépő rendszeres és véletlenszerű hibákat. Ebben a rendszerben valósul meg az alkatrészgyártási művelet. Az MKGSI rendszer elemeit saját koordináta-rendszereikben írjuk le, köztük az átszámítást koordináta transzformációkkal valósítjuk meg. A mozgásokat vezérlő programokat rendszerint a munkadarab koordináta-rendszerében írják, de a szerszámgép koordináta rendszerében hajthatók végre. Amennyiben a szerszámgép más berendezésekkel automatikus üzemmódban együttműködik, a "világ" koordináta rendszerében helyezik el az együttműködő berendezéseket.



1.1. ábra: Az MKGSI rendszer

1.5. Az alakképzési folyamat

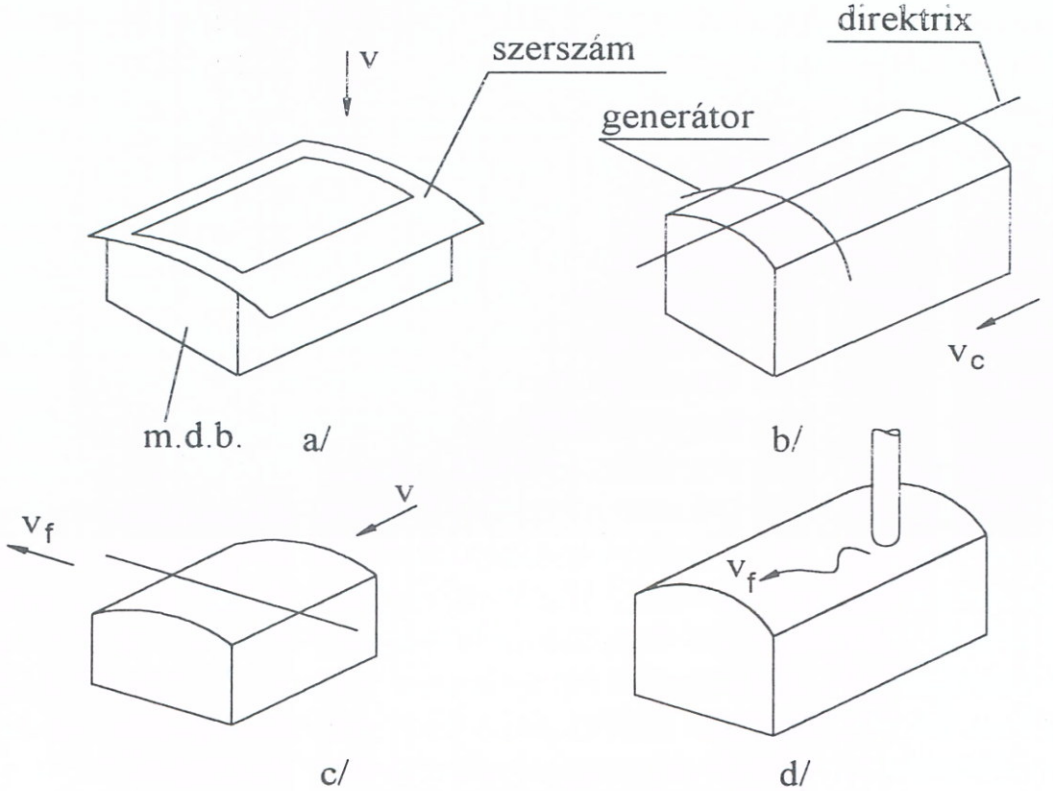
Az anyagleválasztó és alakító eljárások elengedhetetlen feltétele, hogy a szerszám és a munkadarab között relatív elmozdulás jöjjön létre. Két mozgástípust különböztetünk meg forgácsoláskor: a **főmozgást**, amelyet a forgácsolási sebesség (**v** m/sec, m/min) jellemez, és amelyet forgó szerszám esetén a szerszám, álló szerszám esetén pedig a munkadarab fordulatszáma, illetve az aktuális szerszám-munkadarab kapcsolódási (érintkezési) pont (szerszámon forgó, munkadarabon álló szerszám esetében) átmérője határoz meg.

A mellékmozgás - amely lehet folyamatos vagy szakaszos - adja az előtolást, amely nem más, mint a kapcsolódási pont mozgásának sebessége a mozgás pillanatnyi irányában értelmezve. Mérhetjük a munkadarab egy fordulatára vagy löketére (**f**, mm/fordulat, mm/löket), vagy a percenkénti előtolási sebességet ($\mathbf{v_f}$, mm/min), vagy sokfogú szerszám esetében az egy szerszámfogra eső előtolást ($\mathbf{f_z}$, mm/fog). A megmunkált felület mikrogeometriai jellemzőit mindenekelőtt a szerszámnak a munkadarab felületéhez viszonyított mozgáspályája, a szerszám aktuális élének alakja, valamint az előtolás, és a szomszédos szerszámpályák közötti " barázdaszélesség " határozza meg.

Általános elvként rögzíthetjük, hogy a forgácsolt felület mindig transzlációs felület, amely úgy jön létre, hogy a szerszám aktív éle mint generátor mozog a szerszám referenciapontjának térbeli pályája mint direktrix mentén.

Az alakképzés elve, mechanizmusa szempontjából megkülönböztetjük a formázó, a profilozó, a lefejtő és a generáló eljárásokat.

A **formázás** esetében a munkadarabon kialakuló felület a szerszám felületének negatív mása (replikája). Egyszerű, egytengelyű mozgás, sima felület és a drága szerszám jellemzi ezt az eljáráscsoportot. Tipikus képviselői a sajtolás és a tömbelektródás



1.2. ábra: Az alakképzés lehetséges változatai

szikraforgácsolás. (1.2/a. ábra).

A **profilozás** esetében a direktrix rendszerint egyenes, s a szerszám aktív éle egyszerre alakítja ki a megmunkáló felület teljes profilját (1.2/b. ábra) . Jellegzetes profilozó eljárások a vasalás és az üregelés.

Lefejtés esetén a szerszám aktív felülete folyamatos vagy szakaszos csúszásmentes legördülő mozgással hozza létre a felületet, amely gyalulás esetében egyszeresen, marás esetében kétszeresen barázdált lesz (1.2/c. ábra). A fogazás az eljáráscsoport tipikus képviselője.

És végül a **generálást** a szabadon programozható, a gép lehetőségein belül tetszőlegesen megválasztható szerszámpályák és az egyszerű, univerzális szerszám jellemzi. Két vagy több mellékmozgás szinkronizálásával jön létre a térbeli szerszámpálya, a kialakított felület esztergáláskor, véséskor és gyaluláskor egyszeresen, maráskor kétszeresen barázdált. Legbonyolultabb esete az öttengelyes marás, amelynél az eredő mellékmozgás két rotációs és három lineáris mellékmozgás, valamint a 6 tengelyes gyalulás és vésés, amely három-három rotációs és lineáris mellékmozgás szinkronizálásával jön létre.

A megmunkált felület transzlációsként való kezelését az MKGSI rendszer egzakt mechanikai modelljével együtt alkalmazva lehetővé válik a felület makro-és mikrogeometriai jellemzőinek leírása egységes modellel.

1.6. Az automatizált gyártás alkalmazása

Az informatika, a számítógépes integráció és az információs szupersztráda átalakítja az ipari termelést. A gigantikus vertikumok helyébe a horizontális kooperáció, "az elosztott paraméterű vállalat" (fractal factory) lép. Egyre inkább terjed a tervezésben, az ügyvitelben is az otthoni munka, a gyártásban az - esetleg a kertek végében épült - kisebb műhelyek együttműködése a közepes, nagy és óriás cégekkel. Az információ, a dokumentációk - közöttük a berendezéseket vezérlő programok is - hálózatokon áramlanak, s az emberek, az anyagok, részegységek mozgása - a kapcsolódó veszteségekkel együtt - a szükséges minimumra csökken.

Egyre inkább terjed a "lean production" ("karcsúsított", takarékos termelés) filozófiája, amelynek lényege a költségek és veszteségek minimalizálása, a szigorú kooperációs fegyelem, a logisztika és - mindenekelőtt - az informatikai rendszerek segítségével. Kerülik a "presztizsberuházásokat", előbb ésszerűsítik a vállalat működését, s csak a műszaki-gazdasági értelemben megalapozott beruházási projekteket valósítják meg. Megszüntetik a gazdaságtalan részlegeket, erősítik a külső kooperációt.

Minden kooperáció feltételezi, hogy a partnerek kompatibilis informatikai rendszereket alkalmazzanak. Természetes, hogy a bedolgozó kisiparos - legalábbis szükségszerűen - csak a működési körében nélkülözhetetlen modulokat alkalmazza, de azok célszerűen egységes csatlakozási felületekkel, képességekkel bírnak az együttműködők teljes körében.

Törvényszerűen meg kell szűnnie a nagyvállalatok "hi-tech" monopóliumának, ez egzisztenciális feltétele a kisvállalkozásnak és elemi érdeke a sok együttműködő nagynak is.

Bárhogyan alakul tehát a jövendő informatikus életpályája, korszerű informatikai rendszereket fog alkalmazni. Lehetnek különbségek a verzió sorszámában, a számítógép teljesítőképességében, de azok nem lényegiek.

A múlt századi gépekkel telezsúfolt pinceműhelyek és a mester tapasztalataira korlátozott "informatika" korszaka végérvényesen lejárt. Az automatizálás, az informatika alkalmazása általánossá, "hétköznapi" gyakorlattá vált, függetlenül a vállalkozás méreteitől. A CIM elemeinek, részrendszereinek alkalmazása az életben maradás szükségszerű feltételeivé váltak a gazdaságban.

2. A GYÁRTMÁNY ÉS TECHNOLÓGIAI SAJÁTOSSÁGAI

A gépipari termékek általában sok alkatrészből, több részegységből felépülő bonyolult berendezések, gépek, mechanizmusok.

Szélső esetben a gyártmány egyetlen alkatrész (pl.csavar, fúró), a másik szélső esetben (pl. egy repülőgéphordozó hajó) az alkatrészek száma milliókban mérhető. Alapesetként kezelhetjük, hogy a gyártmány mindig háromdimenziós, sokszintű, hierarchikus rendszer.

A gyártmány dokumentálása, egzakt definícója is szükségszerűen összetett, sokszintű: jogos elvárás, hogy az szabatosan leírja az egyes alkatrészek egyedi felületeit éppúgy, mint az összeépített gyártmányt annak funkcióival, műszaki előírásaival együtt.

A gyártmány dokumentálásának hagyományos, sok évszázados eszközei a műszaki rajz és a műszaki előírások. Az utóbbiak a grafikusan nem vagy nehezen tükrözhető követelményeket rögzítik. A műhelyrajzok az alkatrészeket, az összeállítási rajzok a részegységeket és az összeszerelt végterméket dokumentálják. A hagyományos műszaki rajzzal két probléma van: az egyik az, hogy kétdimenziós, míg a termék háromdimenziós. A sok nézet, metszet, kinagyított részlet bonyolult alkatrész esetén nehezen olvasható, a háromdimenziós test nehezen rekonstruálható. A másik problémát az analitikusan nem leírható felületek okozzák: ezek definíciója a rajzokon hiányos, pontatlan, s így az alkatrész olyan lesz, amilyenre a lakatos kezében sikerül.

A CNC vezérlés szükségszerűvé tette a felületek egzakt leírását, hiszen a szerszámpályák tervezése enélkül lehetetlen, a számítógép, az informatika viszont lehetővé tette a felületek teljesen szabatos leírását. Kialakult a számítógépes geometriai modellezés, amely grafikával párosítva látványos eredményeket ért el: az alkatrészek leírása pontos, legalábbis geometriai értelemben, ábrázolásuk szemléletes. Az alkatrészek technológiai attributumainak dokumentálása ma még nem tökéletes, de a termékmodellezésnek nevezett új tudományterület egyre jobb eredményeket produkál a teljes termék leírásában is. Mindenesetre leszögezhetjük, hogy a gépipari termékek műszaki dokumentálásának korszerű eszköze a számítógépes termékmodell, amelyből szükség esetén a "hagyományos" műszaki rajz is leképezhető.

A termékmodelltől természetszerűleg elvárjuk, hogy a gyártmányt minden részletében és egészében is leírja: pontokból, egyenesekből, görbékből felületet, felületekből alkatrészeket, alkatrészekből részegységeket, azokból magasabbrendű részegységeket, majd azokból építkezve a terméket definiálják. Elvárjuk az explicit- és implicit (parametrikus) definíciókat és elvárjuk azt, hogy tükrözze a konstrukciós funkciókat és a technológia igényeit: egységekként kezelje a gyártás során egyidejűleg kialakuló felületeket és írja le azok technológiai, mérnöki sajátosságait is. A munkadarab nem ideális geometriai test, a felületek helyzet-, méret- és alaktűrésekkel korlátozott hibával készülnek, felületük nem sima, hanem érdes, az anyag egészének és felületi rétegeinek állapota változó, a felületeken bevonatok lehetnek stb.

2.1. Az alkatrész geometriai modellje

Három modellezési módszert fejlesztettek ki: a "drótvázas" modellt, a testmodellt és a felületmodellt. Alkalmazzák ezek kombinációját is.

2.1.1. A drótvázas modell

A módszer lényege az, hogy "megépítik" az alkatrész-élek drótvázát és a vázra síkokat feszítenek. Egyszerű modell, két hátránnyal: görbült felületeket nem tud kezelni, így a görbült felületeket síkokkal közelíti (pl. henger helyett sokszögű hasábot épít), és összetett alkatrészek nehezen építhetők. A fejlesztés kezdeti szakaszaira volt jellemző, ma inkább csak speciális rendszerekben alkalmazzák. Természetesen minden más modell esetén alkalmazzák a felületeket határoló élek megjelenítésére.

2.1.2. A testmodell

A volumetrikusnak is nevezett módszer az alkatrészt valós testként kezeli, azt egyszerű testekből építi fel halmazműveletek segítségével. Az építés alapelemeit is véges testekként írja le.
Legyen pl. a henger leírása

H/d,l

ahol a d az átmérőt, az l a hosszt jelöli. Ebben az esetben a 2.1 ábrán látható egyszerű alkatrészt építő hengerek leírása

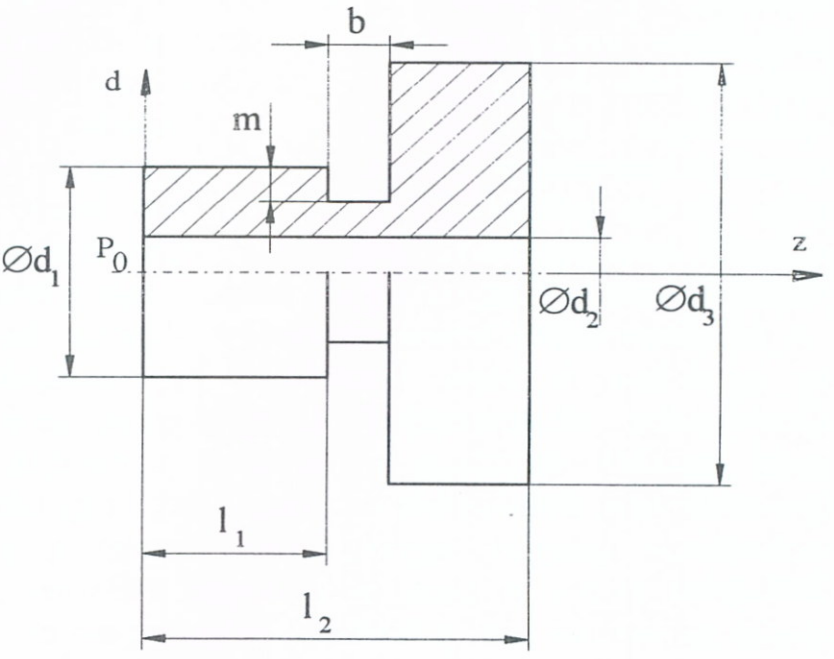
H1=H/d1, l1;
H2=H/d1-2m,b;
H3=H/d3, l2-l1-b;
H4=H/d2, l2, és

a teljes alkatrész leírása:

A=H1∪H2∪H3\H4,

azaz a két hengert és a szintén hengerként leírt beszúrást egymással összeadjuk, majd a hengerként leírt furatot kivonjuk.

Az egyszerű példából látható a módszer legfontosabb előnye és



2.1. ábra: Alkatrész rajz

hátránya is: könnyű az építkezés halmazműveletekkel, viszont nem tükrözi a konstrukciós és technológiai szempontokat.

Ez a hátrány a beszúrás leírásában (henger) éppúgy tetten érhető, mint a furat (szintén henger) definíciójába.

A testmodellező (solid modelling) rendszerek belső ábrázolására leggyakrabban a testet határoló elemeket (felületek, élek, csúcsok) használják (boundary representation, B-rep). Pl. egy tetraédert négy sík, négy csúcs és hat él, egy véges hengert egy hengerfelület, két sík és két él, a kockát hat sík, nyolc csúcs és 12 él ír le stb. Halmazműveletek során új elemek képződnek, régiek eltűnnek vagy módosulnak. Az összetett testek (alkatrészek) reprezentációja nyilvánvalóan igen bonyolult.

A méretvezérelt (dimension driven) testmodellező rendszerek kényelmesek a mérnök számára, mert könnyen módosíthatja - a modell topológiai lehetőségein belül - a definiált alakzat méreteit. A henger pl. ebben az ábrázolási módban úgy képződik, hogy a fél metszetet elforgatjuk a középvonal körül. A módszer hátránya, hogy lassú és bonyolult a hibakeresés.

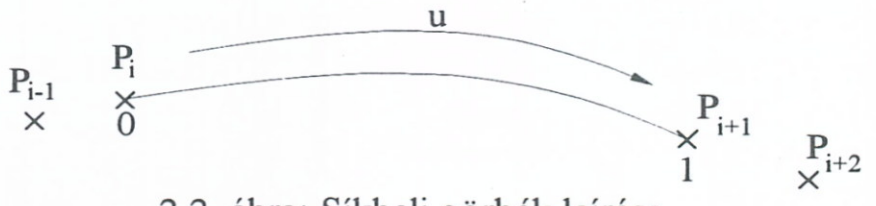
2.1.3. Felületmodellezés

Jelenleg a legáltalánosabban elterjedt modellezési technika univerzalitása miatt. Sík -és térbeli megjelenési formája létezik. Térbeli alkatrészek esetében - ahol lehet - a három dimenziót kettőre redukáljuk az egyszerűsítés kedvéért. Így kézenfekvő forgástestek esetében a forgásszimmetria adta lehetőségek kiaknázása.

A. Síkbeli geometriai alakzatok leírása

A pont és az egyenes, a szabályos pontmintázat, az analitikus görbék (kör, parabola stb.) és a nem analitikus görbék az építkezés alapkövei. Magyarázatot csupán a nem analitikus görbék leírása kíván.

A **nem analitikus görbéket** a síkban pontok $(P_k(x_k;y_k))$ sorozatával írjuk le (2.2. ábra). A geometriából ismert "hagyományos" (Newton, Lagrange) görbeillesztő eljárások mellett a mérnöki gyakorlatban a másod- vagy harmadfokú görbékkel operáló közelítő eljárások (B-spline, Bezier-spline) terjedtek el. Ezek közös sajátossága, hogy négy pont koordinátáit különböző súlyokkal figyelembe véve a két középső pont közé illesztenek approximációs vagy interpolációs görbét. Egy illesztési feladat befejezése után egy ponttal tovább lépünk. A két-két szélső pont közé így nyilvánvalóan nem illeszthető görbe, hacsak nem egészítjük ki a peremfeltételeket (segédpont, érintő).



2.2. ábra: Síkbeli görbék leírása

Jól használható az alábbi spline technika:

- A P_i és P_{i+1} pontok közé illesztünk görbét úgy, hogy a P_{i-1}, P_i, P_{i+1} és P_{i+2} pontok koordinátáit különböző súlyokkal vesszük figyelembe;
- A súlyfüggvények összege:

$$\sum_{k=i-1}^{i+2} s_k = 1$$

Bevezetjük az u paramétert, amelynek értéke tetszőleges lépcsőzéssel 0-tól 1-ig növekszik a P_i ponttól a P_{i+1} pontig haladva

- A súlyfüggvények a figyelembe vett pontokra:

$$\begin{aligned} s_{i-1} &= \frac{1}{6}(1-u)^3 \\ s_i &= \frac{1}{6}(3u^3 - 6u^2 + 4) \\ s_{i+1} &= \frac{1}{6}\left[3(1-u)^3 + 6(1-u)^2 + 4\right] \\ s_{i+2} &= \frac{1}{6}u^3 \end{aligned} \qquad (2.1.)$$

A görbe pontjainak koordinátái a

$$\bar{G}(u) = \sum_{k=i-1}^{i+2} s_k \bar{P}_k \qquad (2.2)$$

összefüggéssel határozhatók meg. Általános esetben az u szélesebb tartományban változik.

Az utóbbi időben terjedt el a nem egyenletes spline görbék (Non Uniform Rational B Spline, NURBS) alkalmazása, amelyek sajátossága, hogy az u paraméter lépcsőzésének finomsága függ a két középső pont egymástól mért távolságától.

A technika egyszerű, gyors, tetszőleges bonyolultságú esetekben alkalmazható, a görbe folyamatos.

Sík kontúrok, akár nyitottak, akár zártak egyenes és (analitikus és nem analitikus) görbe szakaszokkal írhatók le. **Forgástestek** esetében igen egyszerű az alkatrész félmetszetének kontúrként való leírása. Az alkotó elemeket végtelenként (határtalanként) definiáljuk. Bevezetünk felületelem csoportokat, amelyek funkcionális-technológiai egységeket képeznek (pl. beszúrás) és amelyek a felületelemek hierarchiás rendjében másodlagos, hordozott elemek (gyermekek), a hordozó (szülő) felületektől örökölt tulajdonságokkal (helyzet). Egy lehetséges leírási mód a (z,d) koordináta-rendszerben (az

átmérőt sugár vagy x helyett a rajzméretek alkalmazhatósága miatt használjuk):

hengerre D/d;
homlokra H/z;
beszúrásra B/z, m, b

ahol

m - a beszúrás mélysége
b - a beszúrás szélessége.

Egy-egy kontúr (felület) elemhez technológiai attribútumok (tűrés, érdesség) is kapcsolhatók, pl

H/z, TOL, h7, Ra, 1.2,....

A d tengelyt az alkatrész hátsó homlokfelületéhez illesztve (és z a forgástengely) a 2.1. ábra (korábban már volumetrikusan leírt) alkatrésze zárt kontúrként a

P(0,d2);
H/0;
D/d1;
B/l_1; m,b;
H/l_1+b;
D/d3;
H/l2;
D/d2.

módon írható le.

A tervezőrendszerek a hiányos adatokat (metszési, érintési pontok koordinátái stb.) könnyűszerrel kiegészítik.

A síkkontúrokat a térgeometriában is használjuk felületek leírására.

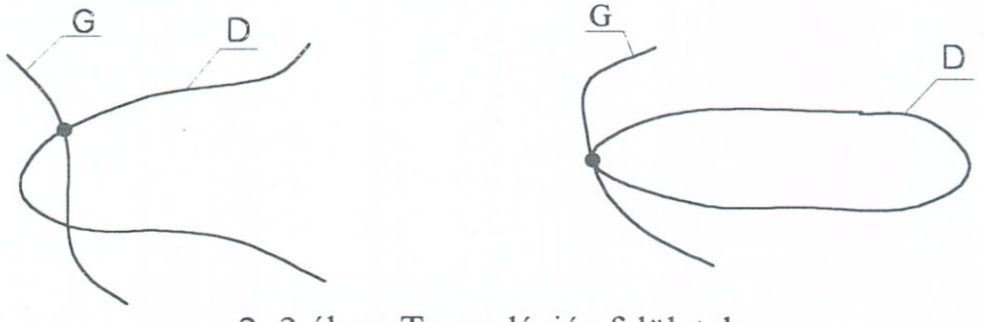
B. Felületek leírása

A gépipari alkatrészeket határoló analitikus felületek pontos definíciója nem okoz problémát (gömb, kúp, henger stb). Nem szokványos viszont a "bonyolult", nem analitikus, szabad formátumú felületek leírása.

Három osztályt (és ezek kompozícióit) szoktuk megkülönböztetni:

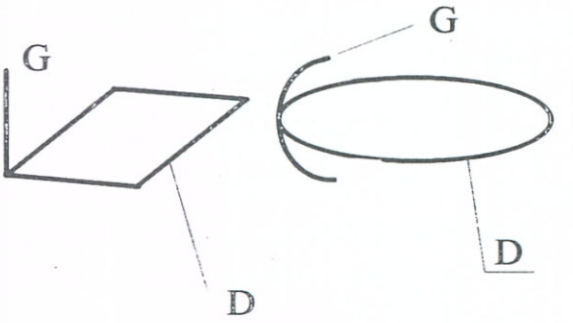
- transzlációs felületek;
- vonalfelületek;
- szoborfelületek,

mint bizonyos berendezések, felületek jellegzetes alkotó elemeit.



2. 3.ábra: Transzlációs felületek

A **transzlációs felületek** leggyakrabban az állandó öntési és kovácsolási szöggel jellemzett szerszámokon és alkatrészeken, tömbszerű alkatrészekből kimunkálandó "zsebeken" fordulnak elő.

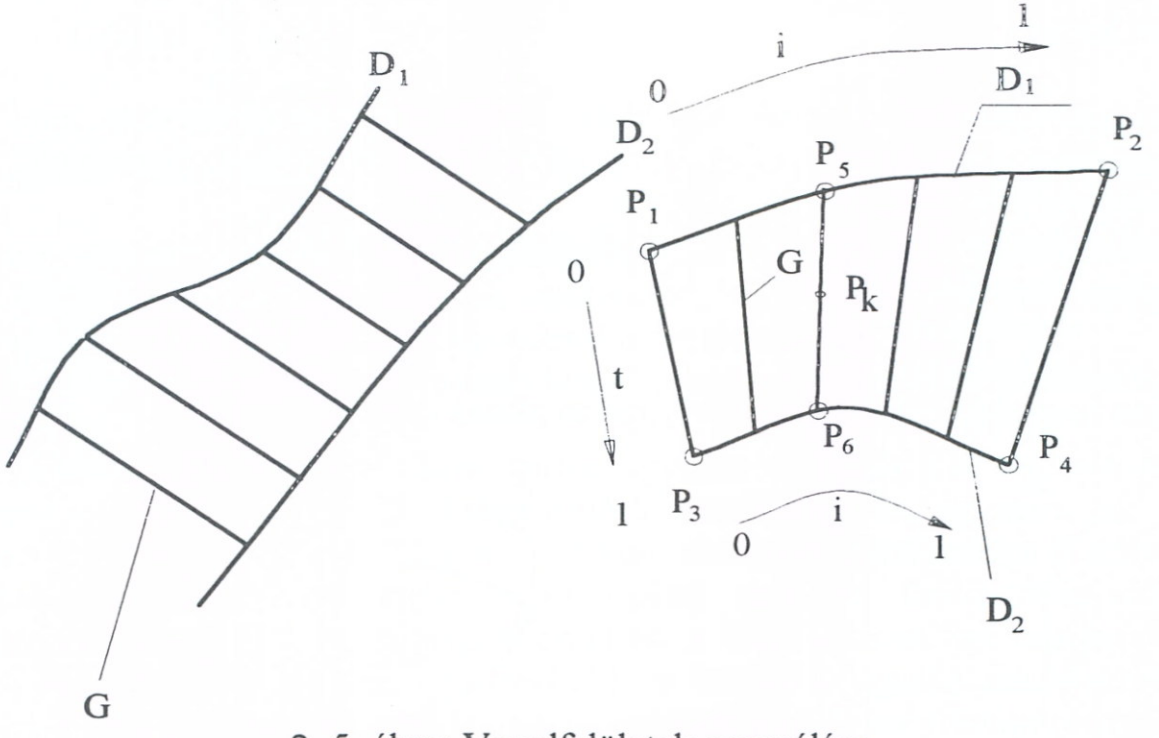


2.4. ábra: Analitikus felületek

Úgy alakulnak ki, hogy a (rendszerint síkbeli) nyitott vagy zárt D direktrix görbe mentén a G generátor görbe úgy mozdul el, hogy általános kúp- vagy hengeralkotóként viselkedik, vagy hajlásszögét meghatározott módon változtatja (2.3. ábra). A görbék és csatlakozási pontjuk, valamint a "viselkedésük" leírása alapján a képződő felület pontjai könnyűszerrel meghatározhatók. Célszerűnek látszik az analitikus felületeknek is (kocka, gömb stb) transzlációs felületekként való belső ábrázolása (2.4. ábra)

A **vonalfelületek** az áramlástani gépek (kompresszorok, turbófeltöltők, turbinák) aktív elemeire jellemzőek. Úgy jönnek létre, hogy a *G* egyenes mint generátor két térgörbe (D1,D2) mint direktrix mentén mozog (2.5. ábra). A direktrix általában több szakaszból áll, de az elemi szakaszok mindig közelíthetők körívvel vagy egyenessel, így elég az egyenes-egyenes, körív-körív, körív-egyenes esetekre kidolgozni a megoldást.

A vonalfelületeknek két fő válfaja van. Leggyakrabban a D1 és D2 direktrixek egyenrangúak és rajtuk a generátor aktuális szakaszai hosszainak arányában egyenletes sebességgel haladnak. A sebességek arányának állandósága az i ívparaméter segítségével érhető el, amely a szakaszok kezdőpontjaiban 0, és egyenletesen növekedve a végpontokban 1 lesz. A generátor helyzete - amelyet a D1 és D2 görbéken lévő pillanatnyi végpontjaik határoznak meg - így könnyen számítható mozgása közben. A felület közbülső (nem a direktrixeken fekvő) pontjának $P_k(x_k,y_k,z_k)$ koordinátáit a *t*



2. 5. ábra: Vonalfelületek generálása

távolság-paraméter alkalmazásával határozhatjuk meg: a generátor aktuális P_5 és P_6 pontjai között a generátoron haladva a t 0-tól 1-ig folyamatosan nő, így P_k mint a térbeli egyenes közbülső pontja:

$$P_k=P_k(D1, D2, i, t).$$

A többtengelyes megmunkálás során szükség van a felületnormális ismeretére a szerszámtengely helyzetének vezérléséhez.

A vonalfelületek másik alosztálya esetében az egyik, pl. a D1 direktrixnek kiemelt szerepe van, ugyanis a generátor mindig a D1-re merőleges síkban fekszik, miközben a D2 direktrixre támaszkodik. Könnyen belátható, hogy ebben az esetben a G generátor a két direktrixen nem haladhat egyenletesen. A D1 és D2 helyzetétől, alakjától függően a kialakuló felület önmagát akár többször is metszheti. Ez a felület alosztály a számítógépes művészet látványos eszköze.

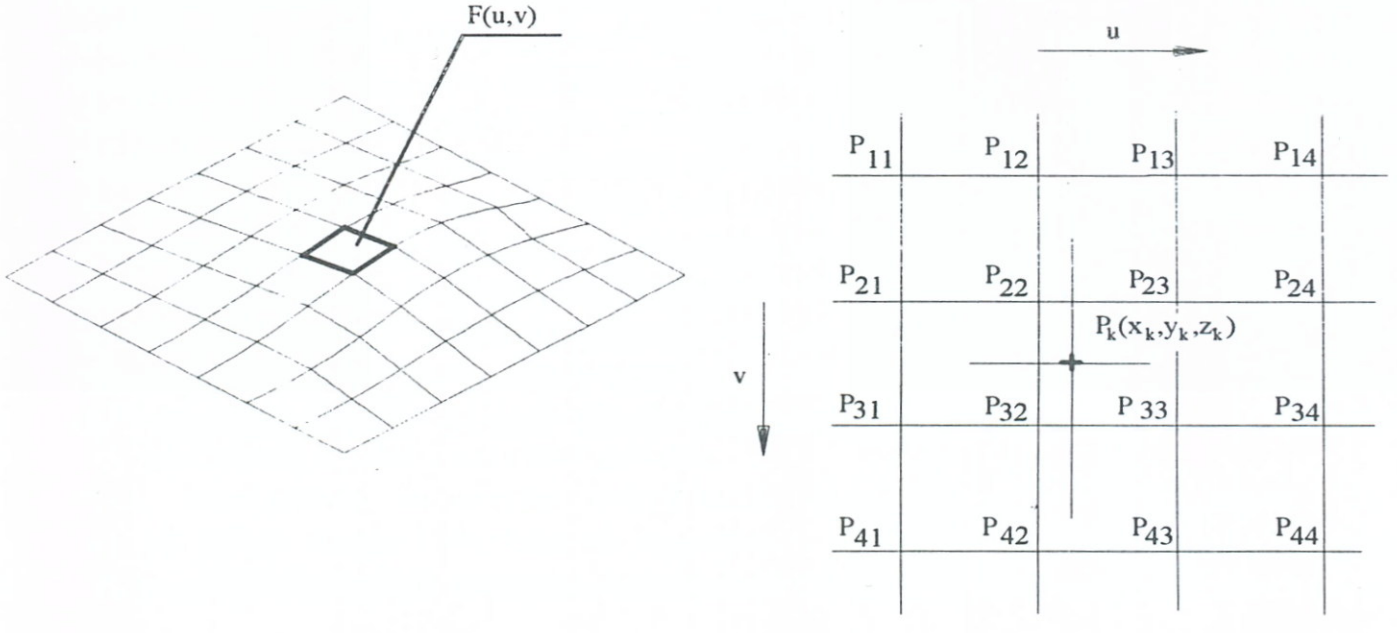
A vonalfelületek speciális alosztályaként kezelhetjük azt az esetet, amikor a G generátor nem egyenes, hanem görbe.

Folyatószerszámokban az alakítás optimálása megköveteli még a görbe folyamatos változását is.

Szoborfelületekről (szoborszerű felületekről) akkor beszélhetünk, amikor a felület sem analitikusan, sem görbék egymáson való mozgásával nem írható le. Természetesen nem szükségszerű a művészi szobrok rendkívül tagolt felületeire gondolnunk (pl. mellszobor), de azokra is. Az esetek többségében "sima" szoborszerű felületek fordulnak elő a gépgyártásban, különösen a formatervező szépérzéke, vagy a légellenállás csökkentése (gépkocsi karosszéria, repülőgép sárkány és szárny stb) miatt.

Több technika létezik (Coons és Bezier foltok, "patches", B-spline felület stb). Közös bennük, hogy a felületet térbeli ponthálóra "simítják". Most csak a B-spline módszert tárgyaljuk.

Amíg a spline görbe esetében négy szomszédos pont koordinátáit figyelembe véve a két középső pont közé illesztettük a görbét, felület esetében értelemszerűen a "lepedő" 4x4,



2. 6. ábra: Felületdarabok leírása

azaz 16 szomszédos pontjának adatait felhasználva a középső 4 pont által határolt foltra "simítjuk" a felületet (2.6.ábra). A görbénél ismert módszerrel definiáljuk a $\bar{G}_1(u), \bar{G}_2(u), \bar{G}_3(u)$, *és* $\bar{G}_4(u)$ görbéket, a másik irányban bevezetjük a v paramétert és az $s_k(v)$ súlyfüggvényeket (a 2.1. összefüggés szerint, értelemszerűen v-t alkalmazva). Az $\bar{F}(u,v)$ felület P_k pontjának x_k, y_k, z_k koordinátáit az

$$\bar{F}(u,v) = \sum_{i=0}^{n} \sum_{j=0}^{m} s_i(u) s_j(v) \bar{P}_{ij} \qquad (2.3)$$

azaz az

$$F(u,v)=G_1(u)s_1(v)+G_2(u)s_2(v)+G_3(u)s_3(v)+G_4(u)s_4(v) \qquad (2.4)$$

összefüggés alapján számíthatjuk. A szerszámtengely helyzetének (ez lehet merőleges az érintősíkra vagy párhuzamos az érintősíkkal, illetve adott szöget zárhat be ezekkel) meghatározásához a felületnormálist az

$$\bar{n} = \frac{\partial \bar{F}}{\partial u} X \frac{\partial \bar{F}}{\partial v} \qquad (2.5)$$

összefüggéssel számíthatjuk.

2.1.4. A "feature" bázisú modellezés

A rendszerek integrációja, elsősorban a CAD és CAPP rendszerek összekapcsolása során derült ki a geometriai modellezés mindhárom módszerének alapvető hiányossága, az, hogy nem tükrözik sem az egyes felületcsoportok funkcióit, sem a gyártásuk közbeni szükségszerű kölcsönhatásaikat, kapcsolataikat. Pedig mind a géptervező, mind a technológus funkciókat megvalósító, illetve együttesen kialakuló felületcsoportokban gondolkodik a termék és a gyártási folyamat tervezése közben. A tisztán geometriai szemléletű modellezés tehát nem felel meg a mérnöki elvárásoknak. Ez a hiányosság különösen érzékenyen érinti, s megnehezíti a CAPP rendszerek működését, hiszen a gyártási folyamat tervezéséhez először az összefüggő felületelem csoportokat kell felismerni és felépíteni.

Az angol szakmai nyelv ezeket a felületelem csoportokat "feature"-öknek nevezi. Optimális esetben a konstruktőr és a technológus azonos feature-öket használ. Jellegzetes példák: fogazat, külső, belső beszúrás, csúcsfészek furat, kötőelem furat és azok csoportja, ékhorony, T-horony stb. Leírásuk lehet explicit, vagy implicit (parametrikus). Az utóbbi esetben nem geometriai elemeiket, hanem "feature" jellemzőiket adjuk meg, pl.

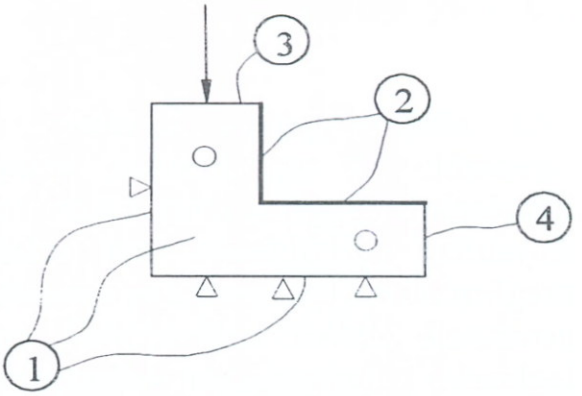
B/z,m,b,

ahogyan a kontúrleírás során tettük.

A leírásnak tükröznie kell a felületek hierarchiai rendjében elfoglalt helyét is (ld. szülő-

gyermek viszony).

Ahhoz, hogy a "feature"-ök valóban szabadon mozgatható építőkockái legyenek mind a konstrukciónak, mind a gyártási folyamat tervezésének, ismerni kell a környező felület-elem csoportokhoz való kapcsolódás, a hozzáférhetőség stb. feltételeit is. A teljesértékű alkatrészmodell "feature" bázisú, de egyben egzakt geometriai és topológiai modell is.



2.7.ábra: Alkatrész felületei

Ilyen modellekkel opráló CAD rendszerekre még várni kell. Fejlesztésük - nemzetközi összefogással - intenzíven folyik.

Szükségmegoldásként felületcsoport felismerő (feature recognition) modulokat illesztenek a CAD és a CAPP rendszerek közé, óriási erőfeszítésekkel, alacsony hatékonysággal.

Néhány igényesebb CAD rendszer azért ma már lehetőséget nyújt arra, hogy a konstruktőr a "feature"-ök alapkészletével operáljon, sőt hatékony, vagy egyszerűbb "feature editor" (szerkesztő) segítségével maga is definiáljon általa gyakrabban használt "feature"-öket.

2.2. Az alkatrész felületeinek szerepe a gyártmányban és a gyártásban

A gyártmány alkatrészei felületeik révén kapcsolódnak egymáshoz. Elsődleges **kapcsolódó felületeknek** azokat nevezzük amelyek az adott alkatrész másikhoz viszonyított helyzetét (pl. egy peremes persely válla és külső hengeres palástja), másodlagosnak pedig azokat, amelyek más alkatrészeknek az adotthoz viszonyított helyzetét (pl. a kötőelemfuratok a peremen) határozzák meg. A **működő felületek** révén (pl. fogazat) fejti ki az alkatrész alapvető funkcióját. A kapcsolódó és müködő felületeket **szabad felületek** kötik össze. A felületek egymáshoz viszonyított helyzetét **méretláncokkal** írják le. A gyártmánytervező **konstrukciós** vagy szerkesztési **méretláncokat ad** meg, célszerűen úgy, hogy azokban a kapcsolódó felületekhez, mint **bázisfelületekhez** viszonyítva határozza meg a működő felületek helyzetét.

A gyártás során a felületek szereposztása más. A **gyártási bázisfelületek** révén válik határozottá a munkadarab helyzete a megmunkáláskor (2.7.ábra, 1), s ezekhez viszonyítva definiáljuk a **megmunkálandó felületek** (2) helyzetét. Erőzárat kell alkalmaznunk, hogy a megmunkáláskor ébredő erők a munkadarabot ne mozdítsák el. A szorítóerőt a **szorítási felületen** alkalmazzuk (3). Itt is vannak **szabad felületek** (4), amelyeknek az adott megmunkálás során nincsen szerepük. Az ékekkel és körökkel az ülékeket és ütközőket, nyíllal a szorítást jelöltük.

A gyártási, szerkesztési és mérési méretláncok kedvező esetben egybeesnek. Ha valamilyen ok miatt mégis különböznek egymástól, akkor **bázisváltási hiba** lép fel, amely csak a **gyártási tűrések** szigorításával kompenzálható.

2.3. Előgyártmányok

Az alkatrészgyártás kiinduló, nyers állapotú munkadarabját **előgyártmánynak** nevezzük. Ez az alkatrész anyagától, a gyártandó darabszámtól, a konstrukciós előírásoktól függően lehet öntött, hegesztett, képlékenyen alakított (kovácsolt, hengerelt, folyatott), porkohászati úton előállított nyers munkadarab. A géptervező szilárdsági megfontolásokból kiindulva esetenként előírja az előgyártmány technológiáját (pl. legyen kovácsolt, definit száliránnyal), egyébként gazdaságossági számítások, rendszerint a legkisebb költség alapján választják meg.

2.3.1. Az előgyártmány méretei és alakja

Természetszerű elvárás az előgyártmány méreteivel szemben, hogy a megmunkálandó felületeken legyen akkora rétegvastagság (ráhagyás), amekkora szükséges ahhoz, hogy azt leválasztva hibátlan felületi rétegű, megfelelő méret-, alak- és helyzetpontosságú,előírt érdességű felületet alakítsunk ki, azaz, hogy az előgyártmány "kiadja" a kész alkatrészt. A ráhagyás ugyanakkor ne legyen nagyobb a minimálisan szükségesnél.

Az alkatrészgyártás során a munkadarab több megmunkálással, több műveletben készül el, ezért megkülönböztetünk **teljes ráhagyást** és **műveleti ráhagyást**. Nyilvánvaló, hogy

$$R_t = \sum_{m=1}^{n} R_m$$

azaz a teljes ráhagyás a műveleti ráhagyások összege.

Az előgyártmány rendszerint kevésbé tagolt, mint a kész alkatrész, azaz kevesebb felület határolja. Ennek oka részint az, hogy az előgyártási eljárások kevésbé alkalmasak bonyolult, sok felülettel határolt munkadarabok előállítására, részint pedig az, hogy egyszerűbbek, olcsóbbak legyenek az előgyártó szerszámok. Az előgyártmány egyszerűsítése, a felületek számának csökkentése azzal is jár, hogy bizonyos felületeken a minimálisan szükségesnél nagyobb ráhagyások lesznek. A ráhagyásoknak ezt a "felesleges" részét **hozzáadásnak** nevezzük.

2.3.2. Az optimális előgyártmány

A gyártás akkor gazdaságos, ha az előgyártmány ára (K_{egy}) az alkatrészgyártás (K_{agy}) és a szerelés (K_{sz}) együttes költségei a legkisebbek, azaz

$$K_{gy}=K_{egy}+K_{agy}+K_{sz}\rightarrow min$$

A szerelés költségei az előgyártmány típusától, méreteitől nem függenek, az alkatrészgyártáséi viszont annál inkább, így az előgyártmány gazdasági optimuma

szemszögéből elegendő a

$$K=K_{egy}+K_{agy}\rightarrow min$$

célfüggvény kielégítése.

Az előgyártmány ára a

$$K_{egy}=\frac{1}{n}K_{esz}+K_{ea}+K_{em}$$

összefüggéssel határozható meg, ahol a

K_{esz} - az előgyártó szerszámozás ára,
K_{ea} - az előgyártmány anyag ára,
K_{em}- az előgyártás megmunkálási költsége
n - a gyártandó darabszám

Az **alkatrészgyártás** költségei hasonlóan

$$K_{agy}=\frac{1}{n}K_{asz}+K_{am}-K_f$$

ahol

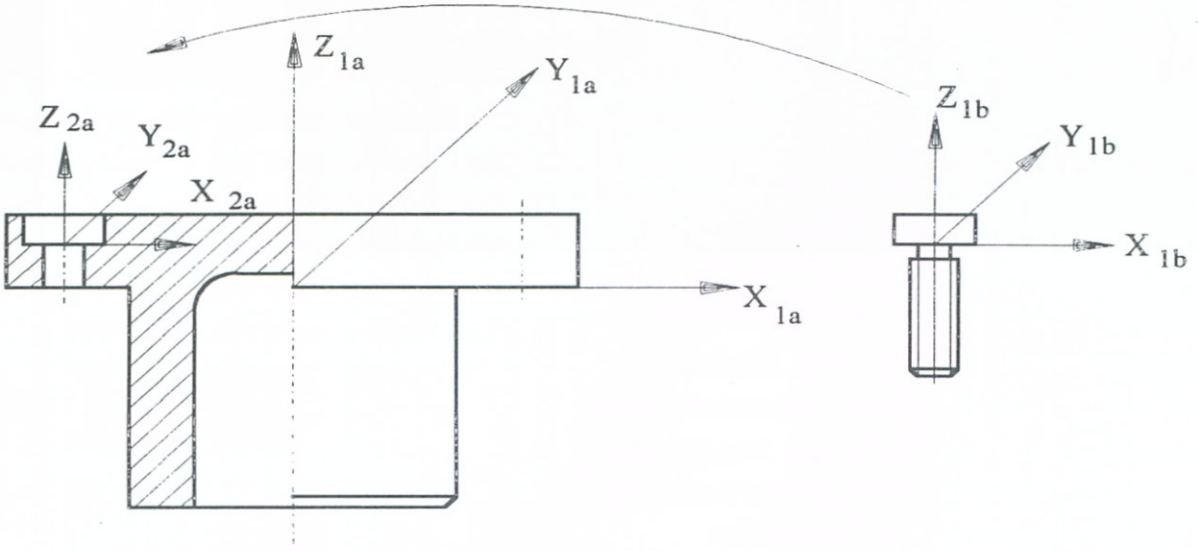
K_{asz} - az alkatrészgyártás szerszámozási költségei,
K_{am} - a megmunkálási költségek
K_f - a forgács értéke.

Minél jobban megközelíti az előgyártmány a kész alkatrészt, rendszerint annál kisebbek az alkatrészgyártás költségei, viszont annál drágább - hagyományos esetben - az előgyártmány. Általános a törekvés arra, hogy a pontos, kevés ráhagyással készült előgyártmányt kisebb tömegszerűségek esetében is olcsóbbá tegyék. A szerelésre kész, vagy majdnem kész előgyártmányt célul kitűző és megvalósító új gyártási filozófiát és gyakorlatot "net shape" vagy "near net shape manufacturing"-nak nevezik.

2.4. A termék modellje

A termék modellje összetett, többszintű geometriai és funkcionális modell. A geometriai modellnek a termék szintjén - amely általában több alkatrészből épül fel - le kell írnia az alkatrészek kapcsolódását, egymáshoz viszonyított helyzetét. A termék működését kinematikai modell, statikus és dinamikus viselkedését, stabilitását mechanikai modellek szimulációs és animációs modellek (helyettesítő modellek) írják le. Természetesen szöveges műszaki leírások is szükségesek (pl. méretláncok analízise).

A geometriai termékmodell az alkatrészmodellekre épül, s azokból csak a kapcsolódás és a működés szempontjából szükséges információkat emeli ki. Az elsődleges és másodlagos kapcsolódó felületekhez lokális koordináta-rendszereket rendelve (2.8.ábra) és azokat megfelelően illesztve a feladat jól megoldható.



2. 8. ábra: Alkatrészek kapcsolódása

A teljes termékmodell tartalmazza az előgyártmányok és alkatrészek geometriai modelljeit, a berendezés struktúráját is tükröző geometriai modelljét, valamint a működést leíró összes helyettesítő modellt és a műszaki előírásokat.

Felhasznált irodalom:

[1.] Mitrofanov, Sz.P. A csoportmegmunkálás technológiai alapjai, Műszaki Könyvkiadó, 1962.
[2.] Bezier, P.E. UNISURF, from styling to tool-shop, CAPE'83, Amsterdam, 1983 MTA-SZTAKI tanulmányok, 169/1985
[3] Kovan, V.M., Korszakov, V.Sz.: Osznovi technologii masinosztroenyija Masgiz, Moszkva, 1957
[4] Szokolovszkij, A.P.: Naucsnüje osznovü technologii masinosztroenyija Masgiz, Moszkva, 1955
[5] Mitrofanov, Sz.P.: A csoportmegmunkálás technológiai alapjai Műszaki Könyvkiadó, 1962
[6] Ross, D.T.: A generalized technique for symbol manipulation and numerical calculation Comm. of the ACME 4.3., 1961, March.
[7] Hatvany, J.: Néhány új irányzat a gépgyártás automatizálásában III. Automatizálási Kollokvium, Budapest 1966

3. FORGÁCSOLÓ SZERSZÁMGÉPEK, IPARI ROBOTOK

3.1. Forgácsoló szerszámgépek és ipari robotok kinematikájának alapjai

E két, a gépgyártástechnológiában meghatározó szerepet játszó gépcsoportot nem csak az u.n. rugalmas gyártócellákban megvalósuló együttműködésük, hanem strukturális és funkcióbeli hasonlóságuk, sőt mozgásrendszerük közös elméleti alapjai is összekötik. A forgácsoló szerszámgép olyan különböző automatizáltságú munkagép, amely adott típusú és kiinduló helyzetű szerszámmal, (szerszámokkal,) munkadarabbal, (munkadarabokkal) meghatározott törvények szerinti mozgásokat végezve, forgácsolással alakítja ki a munkadarabot.

Az ipari robot szabadon programozható, többcélú manipulátor, mely anyag, alkatrész, szerszám, vagy egyéb eszköz egyszerűen változtatható program szerinti mozgatását; térbeli helyzetének megváltoztatását vagy megtartását, megfogását vagy elengedését, vagyis manipulálását végzi.

E két definícióban az előírt feladatot megvalósító mozgás, (mozgatás) közös volta is jelzi: a kinematikai, kinetikai alapelvek a forgácsoló szerszámgépeknél és az ipari robotoknál együtt is tárgyalhatók. (A közös elvi alapokat az ipari robotoknál fejtjük ki részletesen).

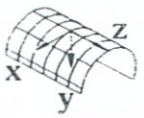
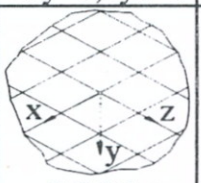
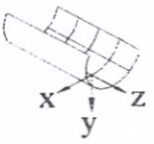
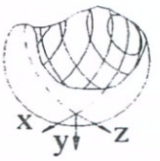
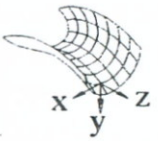
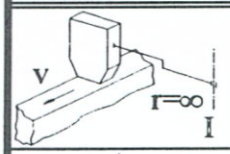
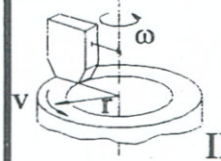
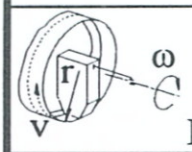
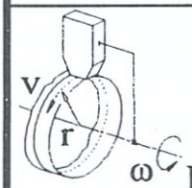
3.1.1. Forgácsoló szerszámgép mozgásrendszer alaptípusok, fordulatszám és előtolássorok

A ma használatos forgácsoló szerszámgépek a szerszám-munkadarab relatív elmozdulást egyenesvonalú (Transzlációs) és forgó (Rotációs) mozgások rendszerével valósítják meg. A gépek sokféleségét a megmunkálási módok változatossága, a mozgásrendszer megvalósításának számos variációja okozza. Az egyes szerszámgéptípusok jellegzetes paramétereit, működési, pontossági jellemzőit nemzetközi szabványok sora rögzíti. A szerszámgépvizsgálatok területén a német (DIN), a japán (JIS) és az amerikai (ASME-NIST) szabványok nemzetközi (ISO) szabvánnyá minősítése, egyesítése még nem történt meg.

A forgácsoló szerszámgépek mozgásrendszerének áttekintésére, az egységes tárgyalásmódra számos kísérlet történt. Saljé rendszerezése (3.1.ábra) négy szerszámtípust és hat felületelem típust használ. (Ezeket a felületelem érintősíkjára és egymásra is merőleges két (x-y, y-z) metszősík által létrehozott síkmetszet görbe görbületével jellemzi). A szerszám un. működő éle a felületelem érintősíkjában mozog. A gép mozgásrendszere szabadságfokainak száma (3 vagy 4), illetve a megmunkálási feladat végrehajthatósága az osztályozási rendszerből az egyszerűbb géptípusokra megállapítható.

Az adott felületelemet megmunkáló gép még ugyanazon szerszámtípusnál is többféle lehet attól függően, hogy a főmozgást a szerszám vagy a munkadarab alrendszer végzi-e és a szabadságfokok e két alrendszer közötti megoszlása illetve egymásra épülésük sorrendje szerint. (L.pl.3.29, 3.30.ábrákat!)

A bonyolultabb (un. szoborszerű)felületek sok szabadságfokú megmunkálógépei, azok mozgásrendszerei leírására különösen alkalmas módszerek alapjait az ipari robotok tárgyalásakor ismertetjük.

	Külső felület megmunkálása			Belső felület megmunkálása		
Görbület	$g_{xy}<0;g_{yz}<0$	$g_{xy}<0;g_{yz}=0$	$g_{xy}=0;g_{yz}=0$	$g_{xy}>0;g_{yz}=0$	$g_{xy}>0;g_{yz}>0$	$g_{xy}>0;g_{yz}<0$
Felületelem Szerszámtípus	 külső gömb	 külső hengerf.	 síkfelület	 belső hengerf.	 belső gömbf.	 nyeregfelület
 I	4*	4,3	3	3		4
 II	4	4	3			
 III	4	4	4	4,3	4,3	4
 IV	4,3	4,3				4

3.1. ábra. Forgácsoló szerszámgépek kinematikai rendszerezése (Saljé)
I.szerszámtípus pld:hossz és harántgyalu, II.:homlokmaró,
III: fúró, furateszterga, IV.:palástesztergálás
(*A gép mozgásrendszere szabadságfokai száma)

A forgácsoló szerszámgép fő és mellékmozgásainak (előtolás) sebessége, és az ezeket megvalósító hajtóművek teljesítménye, nyomatéka olyan kell hogy legyen, amely a valamilyen szempontból optimális értékeket vagy azok jó közelítését biztosítja.

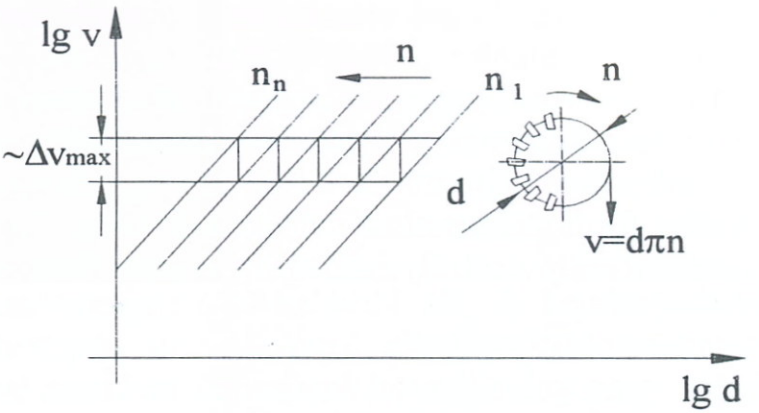
Mivel a forgácsoló szerszámgépek hajtóművei kezdetben un. fokozatos hajtóművek, tehát fordulatszámuk, elmozdulási sebességük meghatározott, diszkrét értékeinek sorát megvalósító, legtöbbször mechanikus szerkezetek voltak, ezeknél csak a kívánt értékek állandó hibával történő megvalósítása lehetett a fordulatszám és előtolássorok kialakításának célja.

Egyszerűen bebizonyítható, hogy ha a fordulatszámsor mértani sor, akkor a relatív sebességveszteség maximuma állandó.

$$\Delta v_{max}=1-\frac{1}{\varphi}=áll.$$

A 3.2.ábrán ez az un.v-d diagramon jól látható, ahol φ a mértani sor sorhányadosa, a fokozati tényező. A fokozati tényezők un. Renard féle meghatározása a

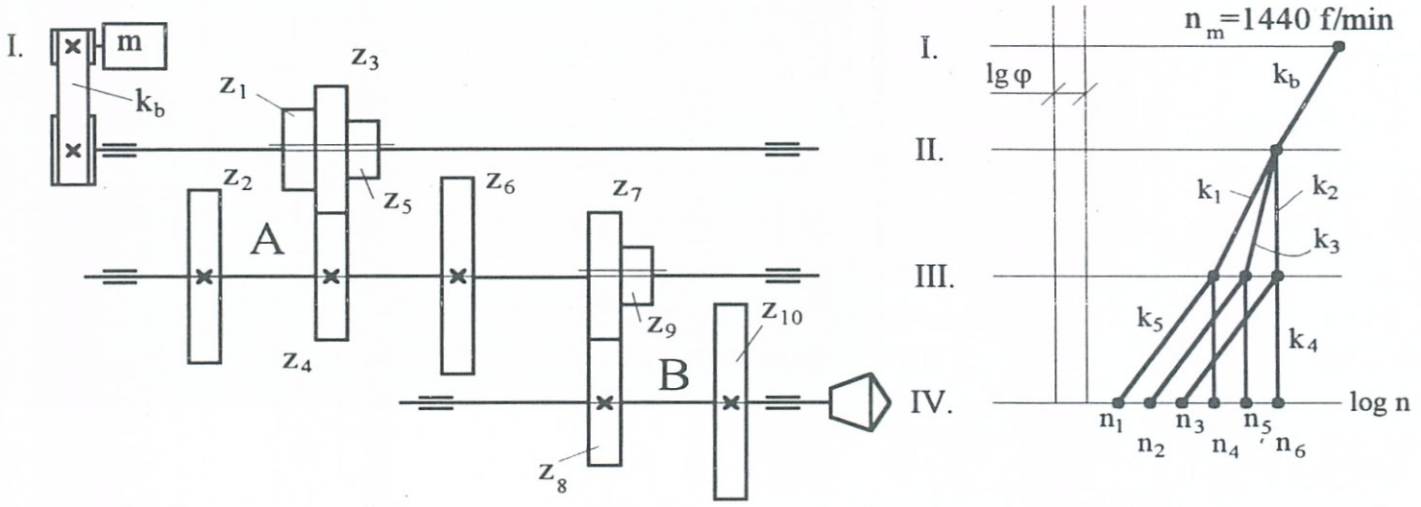
$$\varphi_{R20} \equiv \sqrt[20]{10} \approx 1{,}12 .$$



3.2. ábra. v-d diagram

Az 1,12, és ennek hatványai (1,25; 1,4; 1,6;2) kerültek szabványosításra.(Figyeljük meg, hogy ezekhez Δv_{max}=0,1;0,2;0,3;0,4;0,5 tartozik!)

A szabvány (MSZ 2345) nem csak a fokozati tényezőket, hanem a fordulatszám értékeket is meghatározza oly módon, hogy az aszinkron motor fordulatszámai is szerepeljenek a szabványos fordulatszámok között. Amennyiben a fokozati tényező eleget tesz a $\varphi \equiv \sqrt[E]{2}$ feltételnek (E: egész szám) akkor pólusváltós motorral is lehet a fokozatos mechanikus hajtóművet úgy összeépíteni, hogy átfedés nélküli fordulatszámsorú hajtóegységeket kapjunk. A fordulatszámsor mértani sor, így egy *logφ* beosztású skálán a fordulatszámok, az egyes hajtóviszonyok, mint a fokozati tényező hatványai és így a teljes hajtómű részegységei, azok kapcsolata egyszerűen ábrázolhatók. Ezt az ábrát fordulatszámábrának nevezik. A 3.3. ábrán egy hatfokozatú fogaskerekes hajtómű fordulatszámábrája, kinematikai vázlata látható. Az előtolássorok mértani sor szerinti felépítését a főhajtómű-höz való kapcsolódáson túl az indokolja, hogy a forgácsolóerő változás maximuma állandó, ha adott fogásmélységhez mértani sor szerinti előtolásokból választunk előtolást.



$$k_b=\frac{1}{\varphi^2};\quad k_1=\frac{z_1}{z_2}=\frac{1}{\varphi^2};\quad k_2=\frac{z_3}{z_4}=\varphi^0;\quad k_3=\frac{z_5}{z_6}=\frac{1}{\varphi};\quad k_4=\frac{z_7}{z_8}=\varphi^0;\quad k_5=\frac{z_9}{z_{10}}=\frac{1}{\varphi^3}$$

3.3. ábra. Hatfokozatú fogaskerekes hajtómű fordulatszám ábrája és kinematikai vázlata

(Ez a forgácsoló erő előtolás és fogásmélységtől függését leíró összefüggésből könnyen belátható).

(Figyelje meg, hogy a szabványos felületi érdesség értékei, melyek az előtolástól jelentősen függenek, szintén mértani sor szerintiek).

A fokozatos hajtóművek tehát egy n_{max} és egy n_{min} fordulatszámot és közöttük diszkrét értékű fordulatszámokat valósítanak meg. Ezek számát fokozatszámnak nevezzük. A **fordulatszám szabályozhatóság** szintén fontos hajtómű jellemző.

$$Sz_n = \frac{n_{max}}{n_{min}}$$

A fokozatnélküli hajtóművek *(φ=1)* n_{max} és n_{min} között tetszőleges fordulatszámot meg tudnak valósítani. Ennek ellenére a szabványos, diszkrét fordulatszámok, előtolások alkalmazása -technológiai tervezési (szabványos értéket szoktak programozni) szempontok miatt- még a legkorszerűbb forgácsoló szerszámgépeknél is megmaradt.

3.1.2. Ipari robot mozgásrendszer alaptípusok, mozgást leíró transzformációk

Az ipari robotok kinematikai felépítése sokféle lehet. Ez jelentősen befolyásolja az ipari robot munkaterének alakját, terhelhetőségét, működési sebességét és különféle pontossági paramétereit. Az ipari robotok alkalmazástechnikai vizsgálatát nemzetközi szabvány is rögzíti (Manipulating industrial robots- Performance criteria and related test methods ISO 9283). Az ipari robot kinematikai felépítését (karrendszer) a szabadságfokok és így a transzlációs (T) vagy Rotációs (R) mozgástengelyek száma, rendszerei meghatározzák. (A megfogószerkezet nyitás/zárás funkcióját nem számítjuk szabadságfoknak). Ahhoz, hogy az ipari robot effektorát (megfogó, szerszám) a munkatér tetszőlegesen meghatározott helyére és ott tetszőlegesen meghatározott helyzetbe hozzuk legalább 3+3=6 szabadságfokú karrendszerre van szükség. A robotalkalmazások többségéhez ennél kevesebb szabadságfok is elegendő. Az ipari robotokat általában az első három csukló elrendezése alapján legtöbbször a következő öt csoportba szokás sorolni. (3.4.ábra).

(A legtöbb országban a három szabadságfokunál egyszerűbb karrendszert nem tekintik robotnak).

- Hasáb munkaterű ipari robot.

Csak lineáris mozgástengelyekkel rendelkezik. Vezérlése egyszerű, hasáb alakú munkatere méretéhez viszonyítva kicsi, viszont nincs un. holt tere. Portál változata forgácsoló szerszámgépek kiszolgálására előszeretettel használatos. Az ipari robotok mintegy 40%-a ilyen.

- Henger(koordinátás) munkaterű robot.

Ez a robottípus mely egy rotációs és két transzlációs mozgástengellyel rendelkezik kettős henger munkaterű. Forgácsoló szerszámgépek kiszolgálására ez is alkalmas. Átmenetet képez a hasáb munkaterű és az un. SCARA robot között.

- Gömb(koordinátás) munkaterű ipari robot

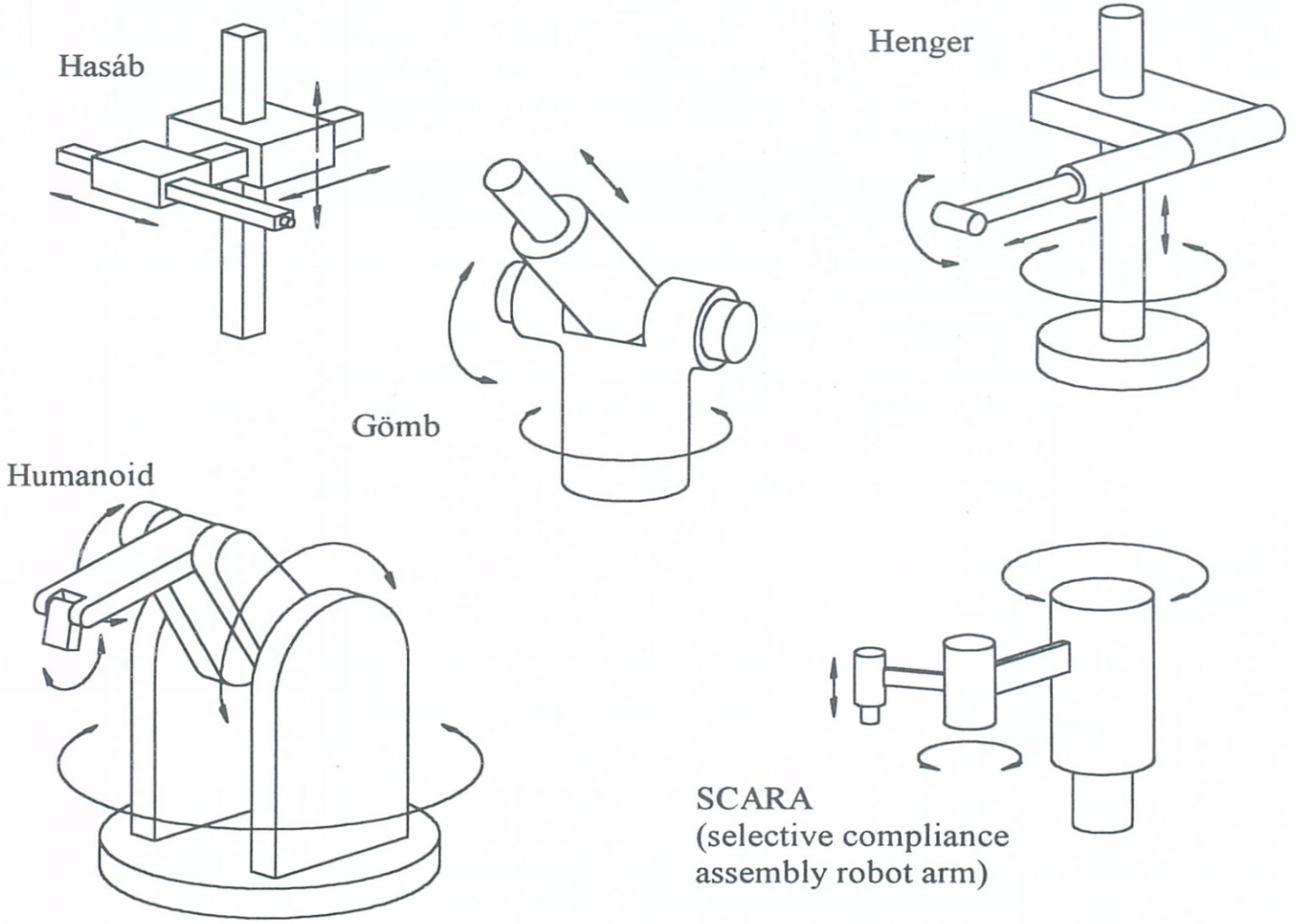
Egy transzlációs és két rotációs mozgástengely/szabadságfok jellemzi. Munkatér variációi a felépítéstől függően gömbszegmenstől teljes (üreges) gömb munkatérig többfélék lehetnek. Gépkiszolgálásra ez is alkalmas, de viszonylag kis munkatere miatt nem igazán kedvelt.

- Humanoid robot

Jellemzője, hogy kizárólag rotációs szabadságfokú elemekből áll. A legelterjedtebb változata 6 szabadságfokú. Ez a robottípus univerzálisan alkalmazható,munkatere méretéhez viszonyítva nagy. A vezérléssel szemben támasztott követelmény nagy. (lásd: transzformációk) Jól bevált robottípus. Az ipari robotok kb. 40% ilyen.

- SCARA robot

A Selective Compliance Assembly Robot Arm (szelektív engedékenységű robot kar) három rotációs és egy transzlációs tengelyből áll. Mint elnevezése is mutatja szerelési, behelyezési feladatokra (pl. nyomtatott áramköri lapba elemek beillesztése) fejlesztették ki. Nagy működési sebesség és nagy ismétlési pontosság jellemzi. Terhelhetősége ugyanakkor általában kicsi. Annak ellenére,hogy kb. tíz éve jelent meg, a robotpiac 10%-át már elfoglalta.



3. 4. ábra. Ipari robotok alaptípusai

3.1.3. Az ipari robotok mozgástörvényei. A robotkarok kinematikája

Ha az effektor előírt háromdimenziós pályája, a pálybejárás mozgástörvénye mint időfüggvény a derékszögű koordinátarendszer abszolút koordinátáiban - világkoordináták - van meghatározva, akkor a pálya megvalósításához a robotmanipulátor koordinátái (Θ_i, S_i) (L.3.5.ábrát!) időfüggvényeinek a meghatározása szükséges $(i=1,2,...n)$. Ez a programozott pont (TCP) derékszögű világ-koordinátáiból a robotspecifikus karkoordinátákba történő koordináta-transzformációt igénylő feladat. Amennyiben a karkoordinátákat, csuklószögeket ismerjük (például szenzoradatokból), akkor az effektor helyzetének és irányának meghatározásához egy, a robot-koordinátákból a világkoordinátákba történő koordináta-transzformáció szükséges. A korszerű robotvezérlők a mozgáspálya tervezéshez, vezérléshez mindkét transzformációt el tudják végezni. A két transzformácó röviden a következőképpen jellemezhető:

- A kar (robot) koordináták világ-koordinátákba transzformációját a **Denavit-Hartenberg**-transzformációs mátrix (továbbiakban D-H mátrix) biztosítja és mátrixok szorzásával egyértelmű megfeleltetést jelent.

A világkoordináták visszatranszformálása robotkoordinátákba nem egyértelműen meghatározott. A számítás nagymértékben függ a kar geometriájától és gyakran több megoldást eredményez. (Ez különösen az un. redundáns kinematikai láncoknál okoz nehézséget.) A robotkoordináták világkoordinátákba transzformálásához a kar D-H szerinti mátrixos leírása szükséges, melynél a kar minden mozgástengelyére egy derékszögű koordinátarendszert ültetünk olyan irányszabályok szerint, hogy két egymást követő koordinátarendszer esetén:

- a z_{i-1} tengely az i-dik karelem mozgástengelye irányában fekszik;
- az x_i tengely z_{i-1} és z_i normál transzverzálisa

Az ily módon meghatározott koordinátarendszerek két egyenesvonalú és két forgó mozgással egymásba átvihetők. A 3.5. ábrán:

- θ_i elfordulás z_{i-1} körül: x_{i-1} párhuzamos lesz x_i-vel,
- S_i elmozdulás z_{i-1} mentén z_{i-1} és x_i metszéspontjáig,
- a_i elmozdulás x_i mentén: a koordinátarendszerek kezdőpontja fedésbe kerül,
- α_i elfordulás x_i körül: a z tengelyek fedésbe kerültek.

Homogén koordinátákat használva a fenti négy mozzanat a 4✱4-es D-H transzformációs mátrixban foglalható össze:

$$D_{i-1,i}=\begin{bmatrix} cos\theta_i & -cos\alpha_i sin\theta_i & -sin\alpha_i cos\theta_i & a_i cos\theta_i \\ sin\theta_i & cos\alpha_i cos\theta_i & -sin\alpha_i sin\theta_i & a_i sin\theta_i \\ 0 & sin\alpha_i & cos\alpha_i & s_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \qquad (3.1)$$

A D-H mátrix egy pontot homogén koordinátákban átszármaztat az i-edik robot koordinátarendszerből az i-1-edikbe

$$\begin{bmatrix} x_{i-1} \\ y_{i-1} \\ z_{i-1} \\ 1 \end{bmatrix} = D_{i-1,i} \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ z_i \\ 1 \end{bmatrix}$$

szerint.

A robotmanipulátor kar összes *D-H* mátrixának összeszorzásával:

$$E=D_{0,1} * D_{1,2} * D_{2,3}.....D_{n-1,n} \qquad (3.2)$$

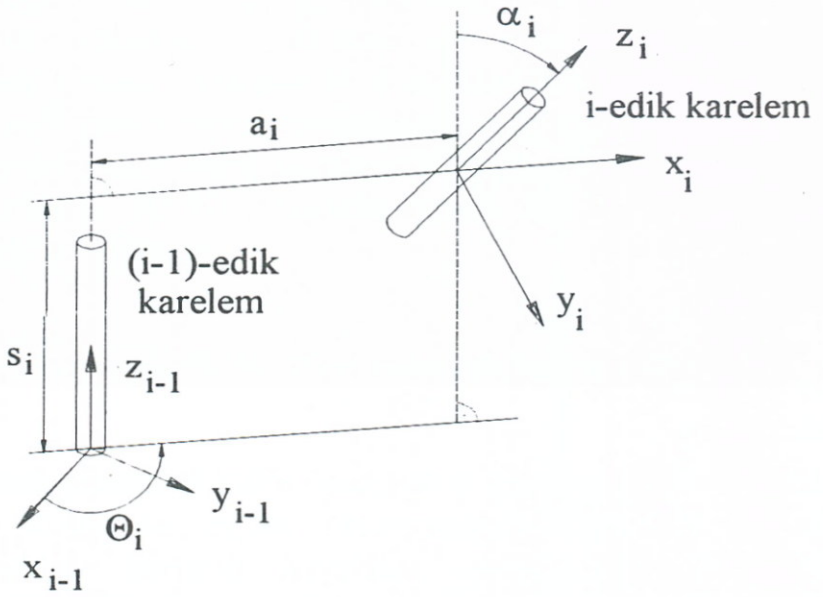
ismét egy 4*4-es mátrixot kapunk, mely az effektor helyét referencia pontjának (TCP Tool Centr Point) és az effektor irányát világkoordinátákban adja meg:

$$E = \begin{bmatrix} x_{ex} y_{ex} z_{ex} x_s \\ x_{ey} y_{ey} z_{ey} y_s \\ x_{ez} y_{ez} z_{ez} z_s \\ 0 \quad 0 \quad 0 \quad 1 \end{bmatrix}$$

Ha a csuklószögeket ismerjük, az E mátrix segítségével az effektorhoz rögzített koordinátarendszer origójához húzott F helyvektor (koordinátái x_S,y_S,z_S), és a koordinátarendszer egységvektorai ($\overline{x}_e, \overline{y}_e, \overline{z}_e$) meghatározhatók.

Az effektor világkoordinátáinak robotkoordinátákba történő visszatranszformálásához a (3.2.) egyenletet az egyes θ_i csuklószögekre kell megoldani.

Az effektor helyzetét és irányát a következő alakú egyenletek adják meg:



3.5. ábra. A szomszédos derékszögű koordináták helyzete Denavit- Hartenberg szerint

$$
\begin{aligned}
x_s &= f_1(\theta_1, \ldots . \theta_n) \\
y_s &= f_2(\theta_1, \ldots . \theta_n) \\
z_s &= f_3(\theta_1, \ldots . \theta_n) \\
\overline{x}_e &= \overline{g}_1(\theta_1, \ldots . \theta_n) \\
\overline{y}_e &= \overline{g}_2(\theta_1, \ldots . \theta_n) \\
\overline{z}_e &= \overline{g}_3(\theta_1, \ldots . \theta_n)
\end{aligned}
\qquad (3.3)
$$

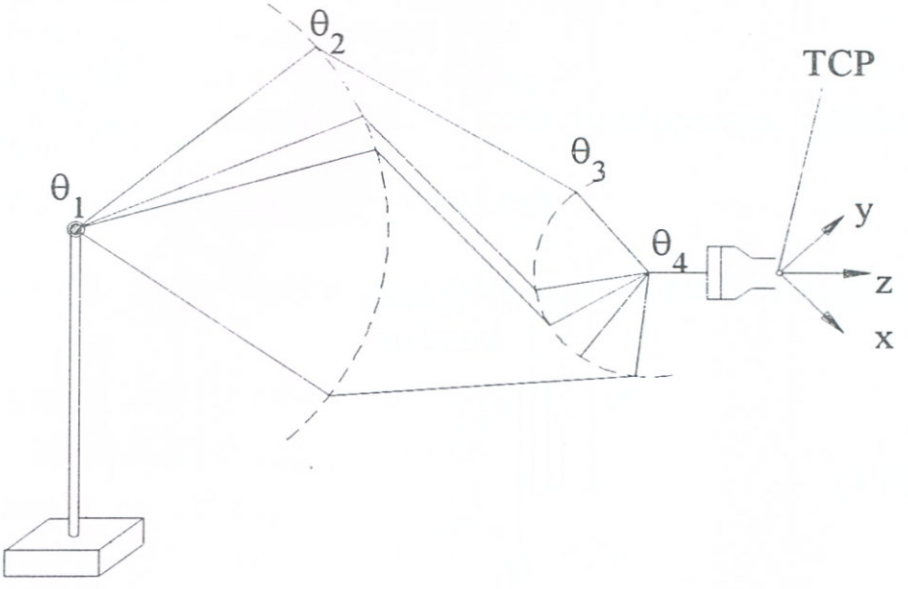
(A (3.3.) egyenletrendszer összesen 12 skalár egyenletből áll, (L.E.mátrixot!) ebből 3-3 a $\overline{g}_1, \overline{g}_2, \overline{g}_3$, vektor egyenletben került összevonására). A 12 egyenlet közül hat független.

Több csukló esetén a (3.2) egyenletrendszer különféle θ független változók szinusz és koszinusz függvényei összegéből áll. A mindenkori θ_i független változókat - a robotkoordinátákat, csuklószögeket - a (3.3) egyenletből kell kifejezni, meghatározni. Ha a robotmanipulátor n szabadságfokú mozgásra képes, akkor a θ_i csuklószögek meghatározására n egyenlet szükséges:

$$
\begin{aligned}
\theta_1 &= h_1(x_s, y_s, z_s, \overline{x}_e, \overline{y}_e, \overline{z}_e) \\
\theta_2 &= h_2(x_s, y_s, z_s, \overline{x}_e, \overline{y}_e, \overline{z}_e) \\
&\cdot \\
\theta_n &= h_n(x_s, y_s, z_s, \overline{x}_e, \overline{y}_e, \overline{z}_e)
\end{aligned}
\qquad (3.4.)
$$

A (3.4.) egyenletrendszer megoldhatósága erősen függ a mozgástengelyek elrendezésétől, a kinematikai lánc felépítésétől. Analitikus megoldás csak kevés szabadságfok esetén (n≤ 3, 4) remélhető. Ha a szabadságfokok száma 5 vagy 6, akkor csukló középpont léte (3 egymást követő mozgástengely egy pontban metszi egymást) a feltétele az analitikus megoldásnak. A többi esetben a numerikus megoldáshoz gyors, mikroprogramozható számítógép és különleges aritmetikai processzorok (a bonyolult trigonometriai összefüg-gések számítására) szükségesek.

Amennyiben a robotmanipulátor kar egy egy meghatározott effektor helyzetet (hely+irány) többféle csuklószög konfigurációval is meg tud valósítani, vagyis a kinematikai lánc redundáns, (3.6.ábra), a (3.4) egyenletrendszer - a számítást tovább bonyolítva - többféle megoldást is ad az egyes θ_i csuklószögekre. Hely alatt az effektor programozott pontjára (TCP) helyezett koordinátarendszer origójának



3.6. ábra. Kinematikailag túlhatározott (redundáns) robotkar

alapkoordináta rendszerbeli koordinátáit (x_s, y_s, z_s) értjük irány alatt pedig ezen koordinátarendszer alap koordinátarendszerhez képest történő elfordulását (Euler szögek).

A robotmanipulátor-karok legtöbbször nyitott kinematikai láncstruktúrájúak. A lánc szomszédos tagjai egymáshoz képest haladó vagy forgó mozgással mozdulhatnak el, amikor is a csatlakozási helyen (csuklók) erők és nyomatékok lépnek fel, adódnak át.

A robotmanipulátor-kar helyzetétől függő tehetetlenségi és súlyerőkön, kényszerítő erőkön túl, különösen a gyorsan mozgó karoknál a centrifugális és Coriolis erők figyelembevétele a megbízható hajtás és hajtásszabályozás tervezésekor elengedhetetlen.

A robotmanipulátor-karok dinamikai modellezésére a legismertebb, az inverz rendszermodellen alapuló két eljárás a következő:

- a **Lagrange-** féle mozgásegyenleteken alapuló, a másik
- a **Newton Euler** féle, a **d'Alambert** elven alapuló, számításorientált eljárás.

A következőkben a két módszer rövid ismertetésével a robotmanipulátor-karok dinamikai tervezésének alapjait kívánjuk összefoglalni.

A Langrange-féle mozgásegyenletek a robotkar egyes csuklópontjai működtető nyomatékának ismeretében az effektor gyorsulásállapotának meghatározására alkalmasak.

Figyelembe veszik a robotkar egyes elemei mozgási és helyzeti energiáit, a centrifugális és Coriolis erőket, a csuklósurlódásokat, az egyes karelemek egymásra hatását.

Ha a robotkar csuklószáma alacsony ($n<4$) akkor az eljárás áttekinthető és gyorsan szolgáltatja a kar dinamikai jellemzőit.

A Newton-Euler féle modell,az előzőtől eltérően a kinematikai lánc egyes elemei közötti rekurzív kapcsolatokon alapul és így általánosságban is megfogalmazható és minden robotmanipulátor-kar konfigurációra alkalmazható. Az effektor mozgásállapotából kiindulva határozza meg csuklópontban lévő kényszererőket és a szükséges nyomatékokat.

A merev testekre vonatkozó Newton-Euler egyenleteket a d'Alambert elvnek egy izolált kar részegységre (karelemre) történő alkalmazásával kapjuk.

Ez a módszer megköveteli, hogy a mozgásegyenleteket a merev testekből álló lánc minden egyes elemére külön-külön alkalmazzuk. E célból az egyes elemek kényszereit a megfelelő, egymással kölcsönhatásban lévő erőkkel kell helyettesíteni.

Ez a módszer a kar egyes elemei kinematikájára is, dinamikájára is biztosítja rekurziós, digitális számítógépeken előnyösen alkalmazható formulák felállítását.

A Denavit-Hartenberg (D-H) transzformáció (L.(3.1.)) **forgácsoló szerszámgép struktúrák** leírására is alkalmas.

3.2. Forgácsoló szerszámgépek és ipari robotok szerkezeti elemei, részegységei

Forgácsoló szerszámgépeknél különösen, de a jóval később megjelent ipari robotoknál is megfigyelhető, hogy az egyes részegységek fejlődése, a mechanikus elemek mechanikai elemekkel történő kiváltása előbb-utóbb a teljes gépkonstrukció átalakításához, alkalmazástechnikai jellemzői megváltozásaihoz vezet.

A következőkben a szerkezeti elemek, részegységek áttekintésekor ezt a folyamatot is szeretnék érzékeltetni.

A vezérlő és mérőrendszerekről, munkadarab és szerszámbefogó szerkezetekről csak a gépek konstrukciójára gyakorolt hatásuk ismertetésekor térünk ki. (Részletesebben ld. 6. fejezetnél)

3.2.1. Forgácsoló szerszámgépek szerkezeti elemei, részegységei

A forgácsoló szerszámgépek jelenlegi fejlődését a nagyobb fő- és mellékmozgási sebességek, nagyobb univerzalitás (forgácsoló központok) és a nagyobb pontosság, megbízhatóság mint alapkövetelmények határozzák meg. E célnak van alárendelve a részegységek fejlesztése is. Az un. elektronikus kinematikai láncok megjelenése, a direkt hajtások (főorsóval egybeépített villamos motor) új gépstruktúrák széles variációját teszi megvalósíthatóvá.

Bár a legtöbb, ma eladott szerszámgép három, egymásra merőleges mozgástengelyű (X,Y,Z), de a négy vagy öttengelyes gépek sem ritkák.

Az **ágy, vagy állványszerkezet a szerszámgép alapja**. Ez hordozza a gép összes aktív vagy passzív elemét, az **orsókat, szánokat, asztalokat**, még a vezérlést is erre erősítik fel. A legtöbb állványszerkezet hegesztett acélból, öntöttvasból vagy un. kompozit betonból készül. Az anyagválasztásnál a merevség - csillapítóképesség, rugalmasság ellentmondó követelmény kielégítése, a hőstabilitás a legfontosabb szempontok.

A **hegesztett acél** állványszerkezet az öntés hátrányait van hivatva kiküszöbölni. Mivel az acél rugalmagasabb mint az öntöttvas, a szerkezetet bordázattal teszik merevebbé.

A kedvezőbb csillapítást ad az üregek jó csillapítóképességű anyaggal (beton, homok, ólom) történő kitöltése.

Mivel az elektronikus kinematikai láncok nem igénylik az egyes mozgásirányokat megvalósító egységek közötti mechanikai kapcsolatot, az állványszerkezetek kialakításánál nincs szükség az un. összekötő tengelyeket befogadó üregekre.

Gyakoriak a különféle állványszerkezet kombinációk is.

Az állványszerkezet (a gép) alapozása, a környezettől történő rezgésszigetelése, az állványszerkezet tömegének megnövelése speciális gépalap tömbbel jelentősen befolyásolhatják a gép pontosságát, dinamikus merevségét.

Az ágyakon, állványokon lévő vezetékek a szerszámgép asztalait, szánjait, hajtóműházait hordozzák. A legrégebbi és legegyszerűbb megoldás a **csúszóvezeték**, mely egyszerű, nagy merevségű és jó csillapító képességű.Öntöttvas állványszerkezetnél, egyszerű kivitelű szerszámgépeknél ez magából az állvány anyagából kerül kialakításra. (3.7.a ábra)

Az állványra felerősített **edzett acél vezeték** sokkal korszerűbb megoldás.(3.7.b. ábra)

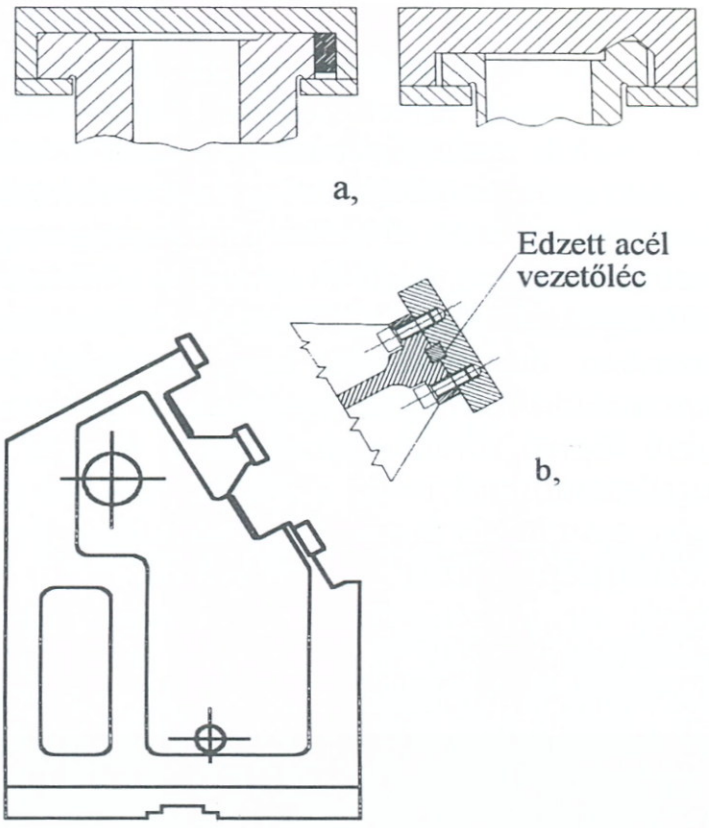
A csúszóvezeték lehet **hidrodinamikus, hidrosztatikus** vagy **aerosztatikus**. A hidrodinamikus vezeték hátránya az un. akadozó csúszásra való hajlam és a nagy kopás. (Mindkettő oka a vegyes súrlódási állapot). A másik két vezetékmegoldás legnagyobb hátránya bonyolultsága.

A modern forgácsoló szerszámgépek döntő többségénél **gördülő vezetékeket** alkalmaznak. Ezek számtalan variációban, egyenes és körvezetékként, akár többirányú erő felvételére is kereskedelmi forgalomban kaphatók. Legismertebb elemük az un. **görgős**

papucs, melynek hernyótalp szerűen körbemozgó golyósora biztosítja a hézagmentes, nagy merevségű és kis súrlódású megvezetést. A lineáris szánok mozgását **hidraulikus hengerrel, fogaskerék-fogasléc** kapcsolattal, **orsó-anya párral**, legújabban **lineáris motorral** oldják meg.

A hidraulikus hengerrel történő mozgatás a legolcsóbb, legerősebb, de nehezen irányítható megoldás. Célgépek, gyártósorok szánmozgatásánál alkalmazzák.

A fogaskerék-fogasléc kapcsolat egyszerű, de még hézagmentesített változata sem elég pontos, rossz hatásfokú, ugyanakkor hosszú szánutak esetén előnyös. Különleges változata a **hidrosztatikus csiga-fogasléc** kapcsolat, mely jó hatásfokával, hézagmentességével igazolja drágaságát.

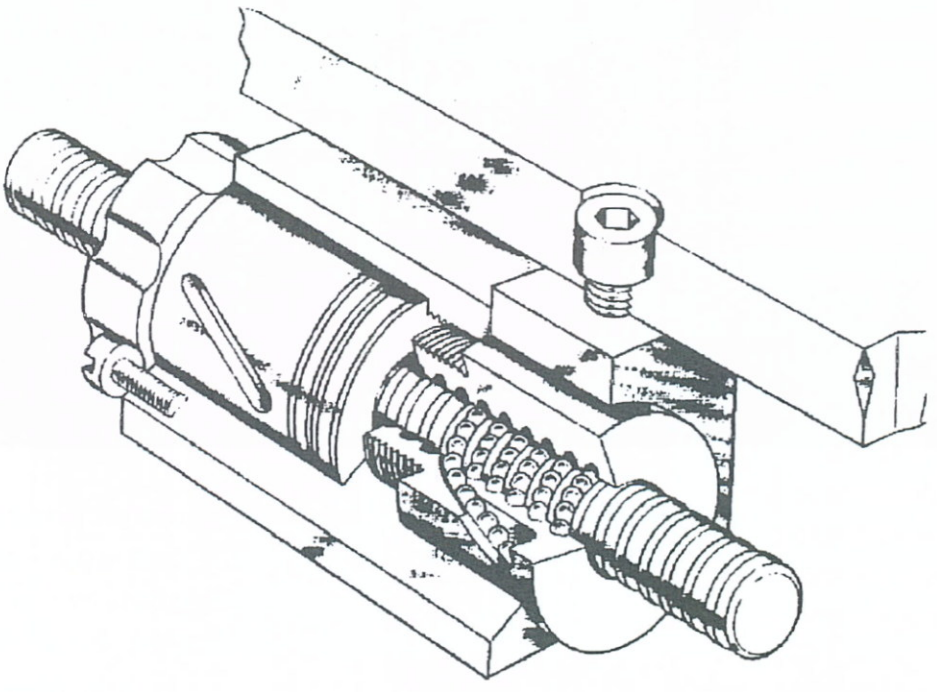


3.7. ábra. Öntöttvas állványszerkezet
a, Vezeték az állvány anyagából
b, Edzett acél vezeték ráerősítve

A leggyakoribb szánmozgató elem az orsó-anya pár. A csúszó súrlódású kapcsolatot (pl. egyetemes eszterga vezérorsója) felváltotta a gördülő orsó-anya pár. (3.8.ábra) Az orsó és az anya közötti kapcsolatot gör-dülőtestek biztosítják (legtöbbször golyók). A gördülő súrlódás jó (≈ 0,92) hatásfoka, az előfeszíthetőség által biztosított hézagmentesség, a nagy merevség nagyon pontos mozgatást tesz lehetővé. CNC vezérlésű szerszámgépeknél szinte egyeduralkodó. Szabályozott egyenáramú (DC) vagy váltóáramú (AC) hajtómotorral közvetlenül hajtva, az orsó elfordulását mérve (közvetett útmérés) pontos szánmozgatást lehet elérni.

A forgó mozgást végző elemek (körasztalok, bölcsők) vezetékeire a lineáris vezetékeknél összefoglalt megoldások megfelelően módosított (körmozgást megvezető) változatait alkalmazzák.

Forgatásra hézagmentesített fogaskoszorú-fogaskerék,



3.8. ábra. Gördülő orsó-anya pár

csiga-csigakerék kapcsolat a leggyakoribb. A hajtás itt is lehet a lineáris szánoknál alkalmazott, elektromotor vagy **hidromotor**.

A forgácsoló szerszámgépek **hajtómotorjai** kezdetben egyszerű **aszinkron,** majd **pólusváltós** motorok voltak. Ezekkel és sokfokozatú, általában fogaskerekes fő-, illetve mellékhajtóművekkel, esetleg ezeket mechanikus fokozatnélküli hajtóművekkel kombinálva biztosították a széles fordulatszám vagy előtolás tartományt, a forgácsolási folyamatoknak legmegfelelőbb nyomatékot illetve teljesítményt (3.9. ábra).

A fogaskerekes, de általában a mechanikus hajtóművek a magas fordulatszám-tartományban már egyáltalán nem, vagy csak nagyon költséges kivitelben működhetnek és automatikus fordulatszámváltásuk is nehezen oldható meg. Manapság amikor a percenkénti főorsó fordulatszámoknál a tízezres nagyságrendnél kezdődik a nagy fordulat, furatköszörűknél pedig a 200000 fordulat percenként sem számít ritkának nyilvánvaló, hogy ezt a hajtás és szabályozástechnika, a csapágyazások óriási fejlődése tette lehetővé.

Főhajtóműveknél az egyenáramú (DC) motorok korlátozott sebességszabályozhatóságuk és a szénkefék kopása miatt egyre inkább az aszinkron váltóáramú (AC) motoroknak adják át a helyüket. Ezek egyszerűbb változatai a sebességszabályozást frekvenciaszabályozással, a nagyobb, pontosabb motorok az un. vektor szabályozással (az armatúraáram és a rotoráram bonyolult szabályozásával) oldják meg.

Az előtoló hajtások motorjai legtöbbször gördülő orsó-anya páron keresztül mozgatják a szánokat. Ezért ezeket gyakran pozícionáló motoroknak is nevezik. Legfontosabb tulajdonságaik: nagy, ugyanakkor egyenletes gyorsító - lassító képesség, mozgás. Ezeket a motorokat a hajtónyomatékkal jellemzik. (0,2-115 Nm közötti névleges értékek a leggyakoribbak). Ugyanúgy, ahogy a főhajtóműveknél itt is az egyenáramú szénkefés motorok helyett a váltóáramú indukciós motorok (un. AC szervók) kerültek előtérbe. Bizonyos, nagy ismétlési pontosságot igénylő esetekben hidraulikus hajtást is alkalmaznak.

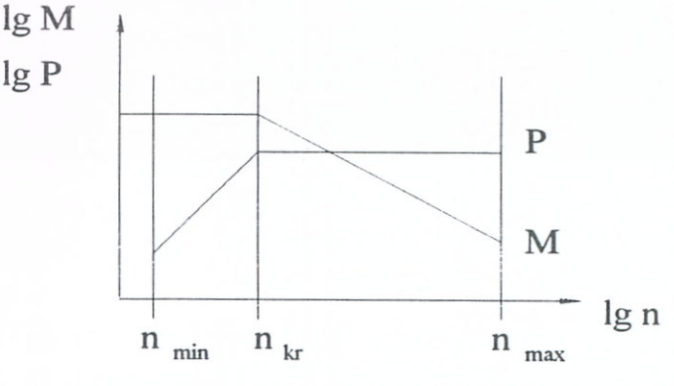
Mind a fő, mind a mellékhajtások fontos részei az út és sebességszabályozáshoz szükséges közvetlen vagy közvetett útadók, a különféle sebességadók. Ezek ismertetésére nem térünk ki. A forgácsoló szerszámgépek megmunkálási pontosságát jelentős mértékben befolyásolja **a szerszámgép főorsójának** pontossága. A pontosságra a főorsó maga, csapágyazása, annak kenése, a hűtés a beépítés mind jelentős hatással van.

A főorsócsapágyazás rendszere lehet önálló egység vagy a gépállványba beépített. Előbbi könnyebben javítható, utóbbi kisebb helyet igényel.

A főorsók mintegy 90%-a **gördülő csapágyazású.**

A csapágyválasztás nagyon összetett, sokszor egymásnak ellentmondó követelményeket figyelembevevő folyamat.

A gördülőcsapágyak kenése jelentősen befolyásolja azok életkorát, kopását. A csapágyazások mintegy 10%-a **hidrodinamikus, hidro/aerosztatikus** esetleg **mágneses.** A hidrodinamikus csapágyazás a legrégebbi megoldás. A gyakori leállással járó üzemel-



3.9. ábra. Jellegzetes terhelhetőségi diagram

tetésre nem alkalmas. Legtöbb típusa csak egy forgásirányban járatható.

A hidro/aerosztatikus csapágyakat a nagypontosságú (un. ultrapreciziós) szerszámgépek főorsóinál elterjedten alkalmazzák.

A mágneses lebegtetésű csapágyak elterjedése most van kezdeti stádiumban.

A főorsó csatlakozó méretei, pl. a főorsó végződés kialakítása szabványosított.

A forgácsoló szerszámgépek fontos részegységei a különféle munkadarab és szerszámbefogó készülékek. Ezekről a 4. fejezet szól.

A forgácseltávolítást speciális szállítórendszerek, a hütő-kenő folyadék ellátást különféle alacsony, közepes és nagynyomású rendszerek végzik.

3.2.2. Jellegzetes ipari robot építőelemek

Az ipari robotok lényegében a forgácsoló szerszámgépekével azonos, vagy nagyon hasonló részegységekből állnak.

A különbségeket a súlycsökkentés iránti fokozottabb igény, a lényegesen kisebb merevségi, pontossági követelmények, a nyitott karrendszerből eredő konstrukciós feladatok (egymásba csapágyazott csuklók stb) okozzák. Az elektronikus hajtások térhódítása a robotoknál is szembetűnő. Az ipari robotok vázszerkezete, karelemei vékonyfalú alumínium vagy acél öntvényből, hegesztett lemezszerkezetből, esetleg szénszál-erősítésű műanyagból készülnek.

Fő szempont a nagy merevség/súly arány. Vezetékeknél, csapágyazásoknál a legfontosabb eltérés: speciális, növelt belső átmérőjű, az egymásba vezetést biztosító gördülőcsapágyak.

A robotok minden egyes szabadságfokához külön hajtáslánc tartozik. Ennek elemei: hajtómotor/tápegység, hajtómű, mozgásátalakító, vezérlő/szabályozó egység. A megfogószerkezeteknek általában szintén külön hajtásláncuk van.

Az energiaellátás szempontjából megkülönböztethető villamos, hidraulikus és pneumatikus, esetleg ezek kombinációjából álló ipari robot hajtáslánc rendszer.

Ezek mindegyikének több, robottechnikai szempontból fontos előnye illetve hátránya van. A következőkben ezeket foglaljuk össze:

Villamos hajtás

Az ipari robotoknál a kevés karbantartást igénylő váltóáramú (AC) villamos szervóhajtások a legelterjedtebbek.

Előnyei:

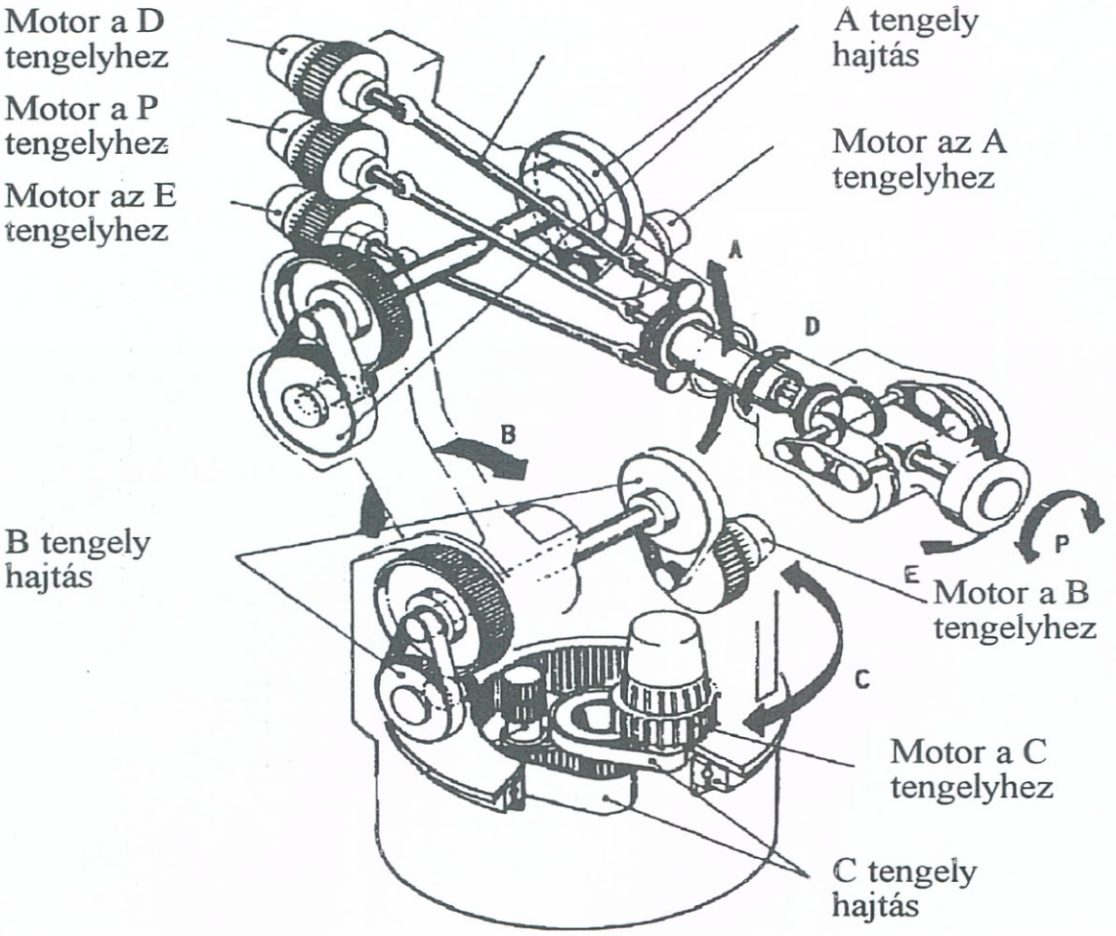
A villamos energia könnyen hozzáférhető; a fokozatnélküli hajtás gyakorlatilag holtidőmentes; egyszerű, kevés karbantartást igénylő megoldás; zajmentes; megbízható.

Hátrányai:

Közepes nyomatékú; nagy fordulatszámú; robbanásbiztos megoldása (ha igény van rá) bonyolult és költséges; az un. direkthajtású kivitel csak kis terheléseknél, nagy sebességű robotoknál lehetséges, nagyobb nyomatékigénynél, lassú mozgásnál redukáló hajtómű pl. a különleges mintegy 200-as lassítóáttételű hullámhajtómű alkalmazása szükséges. Költséges megoldás.

A 3.10. ábrán egy hat szabadságfokú, 60 kg névleges terhelhetőségű csuklós robot kinematikai felépítése látható (KUKA). Mind a hat mozgástengely egyenáramú (DC) tárcsamotorral hajtott melyek beépített állandó mágneses biztonsági fékekkel vannak ellátva. (A mozgás során a fékhatást természetesen megszünteti egy ellenmágnes tér). A motorok fordulatszámát fogazott műanyagszíj hajtással és fogaskerék áttételekkel, majd az ábrán nem látható hullámhajtóművekkel redukálják, ezzel a nyomatékot növelik.

A szervó motort gördülő orsó-anya párral egybeépítve jelentős billentő nyomatékú mozgatást lehet megvalósítani. (nagyméretű robotoknál gyakori megoldás)



3.10. ábra Hat szabadságfokú csuklós robot (KUKA)
(Az egyes hajtástengelyek elemeinek jelölésével L.3.28.ábra)

Hidraulikus hajtás:

Egyenesvonalú és forgó mozgást is lehet hidraulikus hajtóművel létesíteni.

Előnyei:

Nagy erőkifejtésre képes; fokozatnélküli sebességszabályozást biztosít; rögzítőféket nem igényel (l. alább); a hidraulika olaj összenyomhatatlan.

Hátrányai:

Hidraulikus tápegység kell; kis, hőmérsékletfüggő pozícionálási pontosság; jelentős zaj.

Pneumatikus hajtás

A robotoknál elterjedt elektropneumatikus hajtásoknál a pneumatikus hajtóelemek, a sebesség szabályozása, pozícionálása, elektromágneses fékekkel történik.

Előnyei:

Préslevegő hálózat általában adott; kedvező teljesítmény/súly arány; kevés karbantartást igényel; robbanásbiztos.

Hátrányai:

Korlátozott erő/nyomaték; jelentős zaj; nagy fékkopás; kis pozícionálási pontosság.

Az ipari robotokba a hidraulikus működtetésűek kivételével, minden mozgástengely rögzítésére külön féket kell beépíteni. Ezek elsődleges feladata a karok, csuklók rögzítése a súlyerő ellenében. Egyúttal vészleállások esetén az azonnali, biztonságtechnikai előírásokban megkövetelt mozgásleállítást, karrögzítést is biztosítják.

Az ipari robotok nagyon fontos részei a **megfogó szerkezetek.** Ezek nélkül a robot nem tudná ellátni anyagmozgatási feladatát.

Az ideális ipari robot-megfogószerkezet az emberi kéz gépi másolata lenne. Nem véletlen, hogy az emberi kéz vizsgálata a sokoldalú robot megfogó szerkezetek tervezésének egyik kiindulópontja.

A megfogó szerkezet kialakítása nagymértékben függ annak alkalmazásától. A mozgatandó tárgy alakja, mérete, anyaga, az anyagmozgatási feladat végrehajtásának körülményei, környezete annyira sokféle lehetnek, hogy szinte minden feladatra speciális megfogó szerkezetet alkalmaznak.

Mivel a megfogó szerkezet alakja, mérete, feladata számtalan variációt eredményez, nincs általános - az emberi kézhez hasonló - felépítésű megfogó szerkezet, bár kialakítására több próbálkozás is történt.

Az emberi kéz és a műkezek, megfogó szerkezetek közötti távolság még sokáig megmarad, talán soha nem tűnik el egészen.

A megrendelők igényeinek gyors kielégítésére a robotgyártók, újabban a megfogószerkezet - gyártásra szakosodott cégek, a megfogószerkezetek és azok elemei széles választékát készítik és megfogó szerkezet tervezési példatárakat, katalógusokat adnak ki.

A megfogószerkezetek különféle elven működnek. Általános ipari alkalmazásnál a mechanikus, fogó típusú megfogó szerkezet a leggyakoribb.

A robotok megfogószerkezetét, általánosabban az effektorokat felfogó felület szabványosított (ISO 94.09), és a megfogószerkezetek (effektorok) automatikus cserélését lehetővé tevő mechanikus interfész tervezési elveinek nemzetközi szabványosítása is folyamatban van. (ISO/CD 11593). (A megfogószerkezet gyártására szakosodott cégek már ilyen interfészeket is gyártanak).

A robotmegfogószerkezetek megbízható működtetése a robot intelligenciájának fontos részét képező különféle (pl. a szoritóerőt felügyelő) érzékelők nélkül elképzelhetetlen.

3.3. Forgástest jellegű alkatrészek megmunkálógépei

A forgácsoló szerszámgépek két nagy csoportja a **forgástest** jellegű alkatrészeket megmunkáló és a **szekrényes** alkatrészeket megmunkáló gépek fejlődése sokáig egymástól szinte elválasztva folyt. A fejlődés jelenlegi szakaszában ez a két csoport jelentősen közelít egymáshoz: egy **esztergáló központ** szinte csak abban különbözik egy **megmunkáló központtól**, (ld.3.4.2) hogy ez utóbbin a munkadarab nem tud forgó főmozgást végezni.

Az áttekinthetőség és a hagyománytisztelet miatt azonban a megszokott csoportosításban tekintjük át a forgácsoló szerszámgépek legfontosabb típusait. Ebből a meggondolásból a fúrógépeket a marógépekkel együtt (3.4.1.) tárgyaljuk, a köszörűgépeket pedig a finomfelületű megmunkálások szerszámgépei fejezetben. (3.6.)

3.3.1. Az esztergák különféle automatizáltságú típusai

Az esztergák olyan forgácsoló szerszámgépek, melyeken döntően forgásszimmetrikus felületű alkatrészek készülnek. A forgácsoló főmozgást legtöbbször a - főorsóba befogott - munkadarab végzi miközben a folyamatos előtoló és a szakaszos fogásvételi mozgás a forgácsolósebesség vektorra merőleges x-z síkban leggyakrabban a szerszám feladata.

Az esztergák osztályozásának, megnevezésének számos szempontja lehet: főorsó helyzete (vízszintes, függőleges), száma, munkatér mérete (elforduló átmérő, csúcstávolság), szerszámrendszer, elérhető pontosság ("ultrapreciziós eszterga"), automatizáltsági szint.

Az esztergák jellegét, alakját leginkább a szánok és a főorsószekrény helyzetét biztosító **állványszerkezet** határozza meg.

A 3.11. ábrán a legjellegzetesebb eszterga konstrukciók egyszerűsített vázlatai láthatók. (Ezek a formák az automatizáltsági szinttől csak részben függenek)

A vízszintes vezetékrendszerű esztergák (3.11./1 ábra) nagy merevségűek, egyszerű felépítésűek. Az egyetemes esztergák ilyenek.

A ferde ágyelrendezésű esztergák (3.11./2.ábra) nagy merevség mellett a forró forgács és a hűtő-kenő folyadék gyors elvezetésével a gép hőstabilitását is biztosítják. A gép helyszükséglete viszonylag kicsi. Hozzáférése kedvező. A CNC vezérlésű esztergák gyakran ferde ágyelrendezésűek.

A rövideszterga (fejeszterga) (3.11./3.ábra) a tárcsajellegű alkatrészek megmunkálására jött létre. Mivel szegnyerge nincs a munkadarab főorsóval szemből történő automatikus adagolása is lehetséges. (un. front eszterga)

Különösen nagyméretű munkadarabok esztergálásánál előnyös a függőleges főorsóelrendezés, mivel a főorsó hajlító igénybevétele így kicsi.

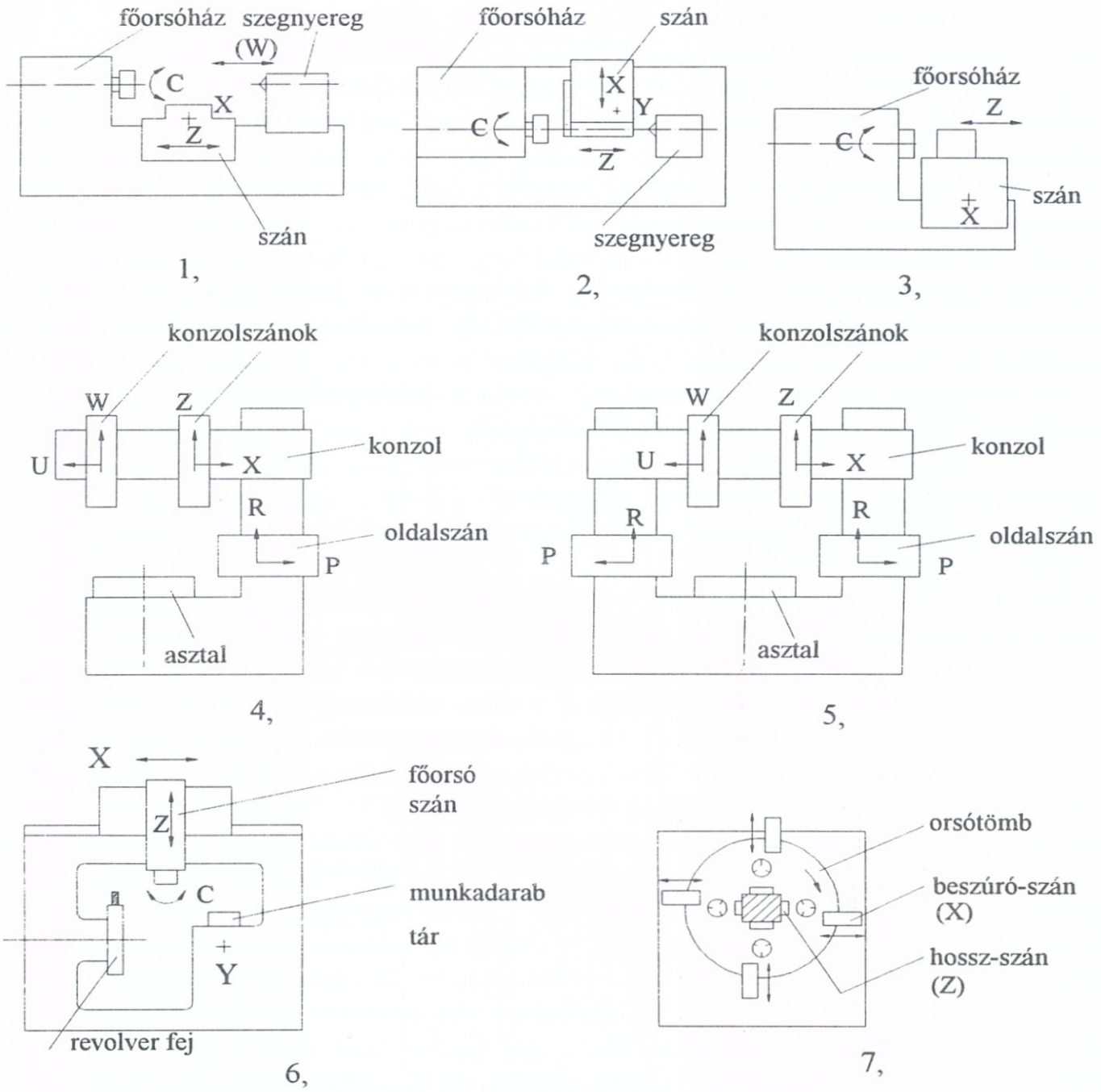
Többszános, egy, vagy kétállványos kivitele (3.11/4,5. ábra) akár 20 méteres asztalátmérőjű is lehet.

A függőleges főorsó elrendezés a munkadarab adagolást is egyszerűsíti: a darabot a súlyerő szinte "belenyomja" a tokmányba. Ez különösen automatikus munkadarabellátásnál (pl. robotos kiszolgálás) előnyös.

A különleges, függesztett főorsójú kivitel (3.11/6. ábra) azon túl, hogy a forgácseltávolítást megkönnyíti még arra is képes, hogy a munkadarabot a tokmánnyal vegye fel, tegye le.(EMAG VSC).

A többorsós, mechanikus vezérlésű automaták rendkívül termelékeny esztergák. Legjellegzetesebb részegységük az orsótömb. (3.11/7 ábra)

A esztergák **szerszámhordozói** sokfélék lehetnek: egyszerű késtartó, revolverfej különféle típusai, automatikus szerszámcserélős egy vagy két szerszámhelyes fejek.



3.11. ábra. Esztergatípusok

A **munkadarabbefogás** tokmányokkal (pofás, patronos), vagy szorítópatronnal a leggyakoribb.

Hosszú munkadarabok megmunkálásánál a megtámasztásról, megvezetéséről is gondoskodni kell. Ezt a feladatot a szegnyereg, az álló vagy mozgó báb alkalmazásával, vagy speciális gépkilakítással (hosszeszterga automata) is meg lehet oldani.

Az automatikus munkadarabellátásnak is nagyon sokféle módja van: különféle rúdanyag adagoló szerkezetek, munkadarab ki-berakó manipulátorok, ipari robotok. Az egyszerűbb manipulátor, robot gyakran a szerszámgépre épül rá. Legkedvezőbb megoldás a portál robot.

Ezen tömör áttekintés után az esztergák automatizáltsági szintje fejlődésének különféle állomásait, az azokra jellemző géptípusokat foglaljuk össze.

Az egyetemes eszterga

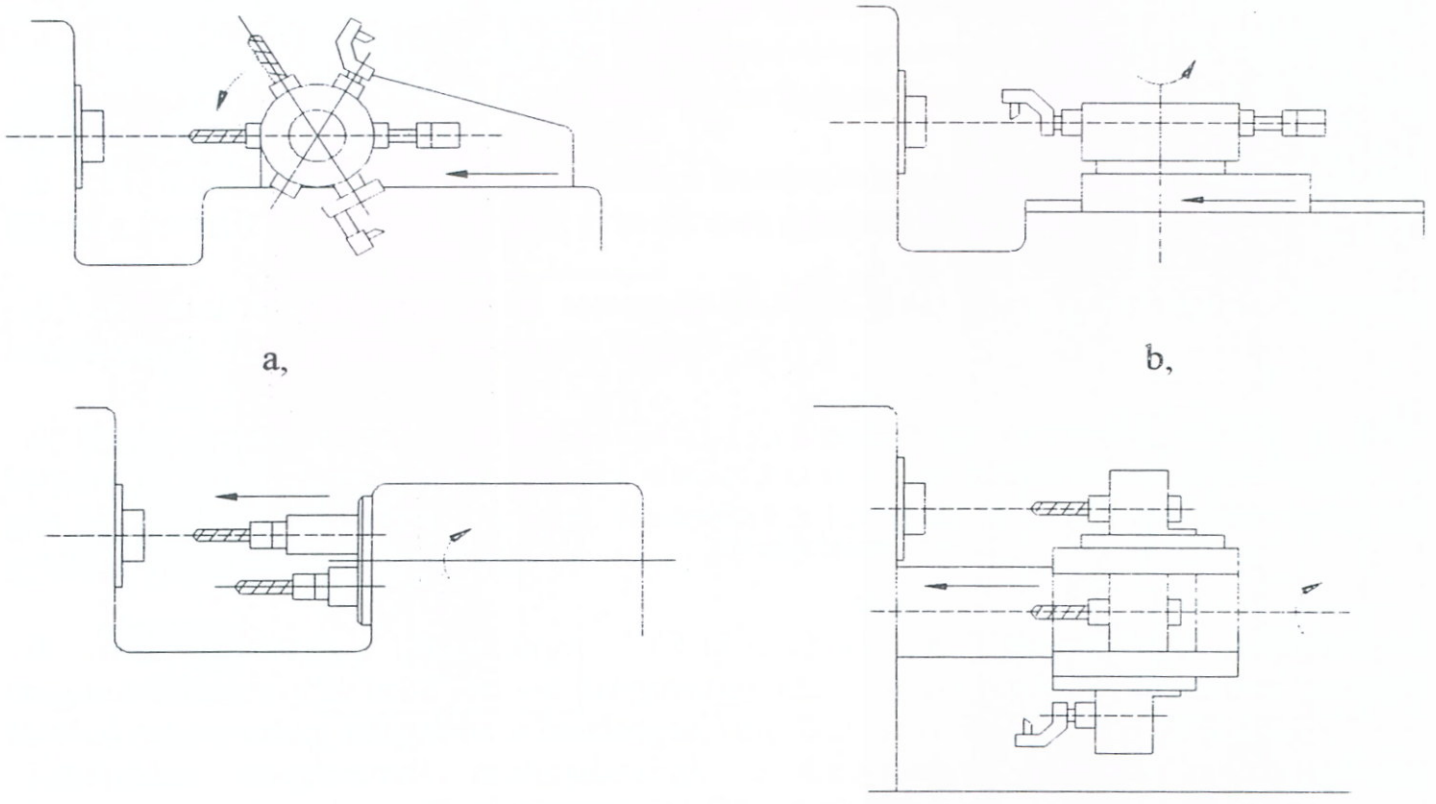
Elnevezéséhez hűen nagyon sokoldalúan felhasználható, ugyanakkor a gépkezelő felkészültségével szemben magas követelményeket állító, **kézi vezérlésű** szerszámgép.

Legfontosabb jellemzői: sokfokozatú, általában kézzel kapcsolható fogaskerekes fő- és mellékhajtómű.

Az általában az egyszerű négyoldalas késtartóban lévő szerszámok is kézzel válthatók, cserélhetők.

A revolveresztergák a termelékenység felé tett első jelentős lépést jelentik, a szerszámcsere/váltás feladatát a gép elnevezését adó különféle **revolverfejek** könnyítik meg. (3.12.ábra)

A szánmozgások és így a munkadarab méretek beállítását/határolását mechanikus ütközők és előtolást megszakító szerkezetek végzik.



3.12. ábra. Revolverfej típusok
a, Revolverfej vízszintes tengellyel b, revolverfej függőleges tengellyel
c, dobrevolverfej munkaorsókkal d, tömbrevolver

A dobrevolver esztergák kis és közepes átmérőjű rúdanyagból készülő munkadarabok kis és középsorozatú megmunkálásra szolgálnak. Lényegük a vízszintes, a főorsó tengelyével párhuzamos tengelyű, a szerszámokat homlokfelületén hordozó dobrevolverfej.

A keresztesztergálás általában a revolverfej forgatásával történik, mivel a keresztszános kivitelű un. nyeregrevolver kialakítás ritka.

A méretharárolás mechanikus ütközőkkel történik.

A tárcsajellegű munkadarabok megmunkálására alkalmas esztergák rendszerint függőleges tengelyű revolverfejébe nagyobb méretű, esetleg többszerszámos szerszámtartók is befoghatók egy-egy szerszámhelyre.

A revolveresztergák kezelője sok esetben betanított munkás is lehet. Ilyenkor a gépbeállítás, felszerszámozás az un. gépbeállító feladata.

Sok gépen a revolverfej cserélhető a gyors szerszámváltás biztosítására.

Kétségtelen, hogy a revolvereszterga jelentősen megkönnyíti az egyetemes esztergához képest a gépkezelő feladatát és így komoly termelékenységnövekedést biztosít. Ugyanakkor a megmunkálási program, a műveletek sorrendje, betartása az egyes műveletekhez tartozó technológiai adatok beállítása, aktivizálása, a szükséges szerszám beváltása - még akkor is, ha a revolverfejben azok műveleti sorrendnek megfelelően vannak elhelyezve - a gépkezelő feladata.

Azokat a szerszámgépeket, s így esztergákat is melyek a megmunkálás programját automatikusan végrehajtják, **programvezérlésűnek** nevezzük.

Az első programvezérlésű esztergák mechanikus vezérlésűek voltak. Ezek a rendkívül bonyolult mechanikus szerkezetű szerszámgépek a különféle mechanizmusok tárházát jelentik.

Felépítésük legfőbb jellemzője: a munkadarab geometriai adatait hordozó un. útinformációkat, a megmunkálás sorrendjét jelentő un. kapcsolási információkat mechanikus programhordozók, a gyártás ütemességét meghatározó vezértengelyen lévő vezértárcsák, vezérlődobok tárolják. Ugyanakkor ezek a programlépések végrehajtásához szükséges mechanikai szerkezetek, mechanizmusok elemei is.

Amennyiben a munkadarabellátás is automatizált - és ez a gyakoribb - akkor programvezérlésű eszterga automatáról beszélünk, ha nem - akkor félautomatáról. A munkadarabellátás legegyszerűbben rúdanyag adagolásával automatizálható, ezért ezen gépek legtöbbje rúdanyagból dolgozik.

Mi a mechanikus programvezérlésű eszterga automaták egyik legnagyobb hátránya? Az, hogy a főmozgás-és a mellékmozgások sebességét cserekerekes hajtóművekkel kell beállítani. Ez azt jelenti, hogy ezeket műveletről-műveletre nem lehet változtatni, tehát az optimális forgácsolási paraméterek nem biztosíthatók.

Figyelembe véve, hogy a vezértárcsák egy adott munkadarab megmunkálásának információit hordozzák, nyilvánvaló, hogy minden egyes munkadarabhoz külön vezértárcsa készlet tartozik, melynek megtervezése, legyártása, a gépre szerelése, a gép beállítása nagyon költséges, hosszadalmas feladat, mely csak tömeggyártásban fizetődik ki.

A mechanikus programvezérlés teremtette meg a **többorsós megmunkálás** lehetőségét is. Mi a többorsós megmunkálás előnye?

A többorsós eszterga lényegében az orsó számának megfelelő számú egyorsós gépet helyettesít, ugyanakkor:

- termelékenysége is az orsószámmal egyenesen arányosan nő, de
- ára, helyszükséglete, átprogramozásának időigénye lényegesen kisebb mértékben nő csak
- a belső anyagmozgatás egyszerűen automatizálható.

A többorsós mechanikus vezérlésű eszterga automaták rendkívül termelékeny és kizárólag a tömeggyártásban alkalmazott szerszámgépek.

Milyen hátrányai vannak a mechanikus programvezérlésű esztergának?

- A cserekerekes hajtóművek miatt a technológiai adatok nem optimálhatók, mert a főorsó és a vezértengely fordulata állandó.
- A gép átállítása drága és hosszadalmas.

Az elektromechanikus programvezérlésű esztergák felé tett első lépés éppen a cserekerekes hajtóművek elektromágneses tengelykapcsolós hajtóművekkel való felváltása volt. A fordulatszámváltást műveletről műveletre egy, a vezértengellyel szinkronban forgó olyan kapcsolódob végzi, melyen állítható lovasok olyan elektromos kapcsolókat nyitnak-zárnak, amelyek végső soron az adott művelethez szükséges fordulatszámot, előtolást biztosító tengelykapcsolókat aktivizálják. A következő lépés a vezértárcsák, a vezértengely kiváltása volt: az útinformációkat és a kapcsolási információkat úgynevezett helyzetkapcsolók, illetve az azokat működtető lovasok, valamint a műveleti sorrendet vezérlő, a helyzetkapcsolókat aktivizáló programtároló egységek vezérlik. Így a helyzetkapcsolók lehetnek utasítástól függő és független megoldásúak.

Ezeket a vezérlés megoldásokat követő vezérléseknek is nevezik, mivel a megmunkálási programban lépésről lépésre haladva, a továbblépés előtt annak feltételeit, természetesen az előző lépés teljes végrehajtását is vizsgálva, működnek.

Szerszámgépeknél gyakran alkalmazott programozható követővezérlés az un. dugaszmezős vagy keresztsínelosztós vezérlés, mely nevét az egymásra merőleges sínekből álló programtárolóról, illetve a sínek metszéspontjába bedugható és így az adott metszéspontot-programlépés-aktivizált un. dióda dugaszról kapta.

A programtároló és a helyzetkapcsolók között bonyolult, itt nem részletezett - relés, vagy félvezetős - vezérlések, hajtásrendszerek vannak. A mechanikus és elektromechanikus programvezérlésű esztergák un. egyutas szánokkal rendelkeznek csak. Két ilyen szán egymásraépítésével is csak egymásra merőleges szakaszokból álló szerszámpályák valósíthatók meg. Bonyolultabb mozgáspályák megvalósítására általában másolóberendezéseket alkalmaznak.

A programozást tehát a programtároló " átprogramozása " és helyzetkapcsolókat működtető lovasok átszerelése jelenti. Annak ellenére, hogy az előbbi feladatot a teljes dugaszmező cseréjével is végre lehet bizonyos vezérléstípusoknál hajtani, az átprogramozás hosszadalmas.

A helyzetkapcsolók lekapcsolási pontossága ritkán enged meg 0,1 mm-nél pontosabb pozícionálást. A gépbeállító/programozó és a gépkezelő feladata ezeknél az esztergáknál is gyakran elkülönül.

A mechanikus és elektromechanikus programvezérlésű esztergák a munkadarabellátás-automatizálásával - ez általában egyszerű manipulátorral megoldható - a tömeggyártás jól bevált esztergagépei. Ugyanakkor a megmunkálási feladat legkisebb változására sem képesek automatikusan reagálni, új feladatra átállni, vagyis az un. rugalmas, flexibilis gyártás számára alkalmatlanok.

A rugalmas automatizálás eszközei szabadon programozhatók.

A rugalmasan programozható esztergák vezérlése az NC (numerical control, számvezérlés) vagy CNC (computer numerical control, számítógépes számvezérlés) rövidítésekkel jellemzett.

Mit jelent az NC? Egyszerűen fogalmazva a gépet számokkal, betűkkel és más jelekkel kódolt utasítások vezérlik. Ezeket az utasításokat olyan kimenő elektromos jelekké alakítják, amelyek a szerszámgép működtetését biztosító elemeket, hajtásokat, stb. aktivizálják.

Az NC utasítások sorozatából álló program egyrészt tartalmazza a munkadarab geometriai alakját biztosító megmunkálási utak leírását,. a mozgások sebességét, az egyes műveletek szerszámainak kódját, a segédfunkciókat működtető utasításokat,(pl. hűtőkenő folyadék ellátás).

Magyarán mindazokat az adatokat, amelyeket a hagyományos esztergák vezértárcsákban, ütközőkben, dugaszmezőkben, vagy a gépkezelő közvetítésével a technológiai utasításokban tárolt vezérlőprogram tartalmazza.

Fontos azonban leszögezni, hogy az NC technika nem egy megmunkálási módszer, hanem egy vezérlési koncepció: a programozó dönt, a vezérlés csak végrehajtja az utasításokat. Ez természetesen nem zárja ki különféle felügyeleti funkciók lehetőségét. Ezt különösen a CNC vezérlők biztosítják, amelyben az NC vezérlésektől eltérően software hordozza azokat a vezérlési, működtetési funkciókat, amelyek az előbbiekben hardware-ként vannak beépítve.

Ez azt jelenti, hogy nem a vezérlő hardware, hanem a működtető program teszi alkalmassá a vezérlőt eszterga vagy marógép stb. vezérlővé.

Az esztergák rugalmas automatizálásának logikus lépése az ipari robottal történő kiszolgálás megvalósítása, melynek eredményeként un. **esztergáló cella** jön létre. Egyszerű megoldást jelent az eszterga oldalára épített ipari robot, mely a gép és annak közvetlen közelében elhelyezett tároló között dolgozik.

Esztergák kiszolgálására legelőnyösebb a felsőpályás portál robot. Ez lehet un. síkportál, vagy pedig egy un. térportál robot. Ez utóbbi előnyös helykihasználásával a teljes munkadarab és szerszámellátás megoldását biztosítja. (L.még 3.6.)

3.3.2.Az esztergáló központ

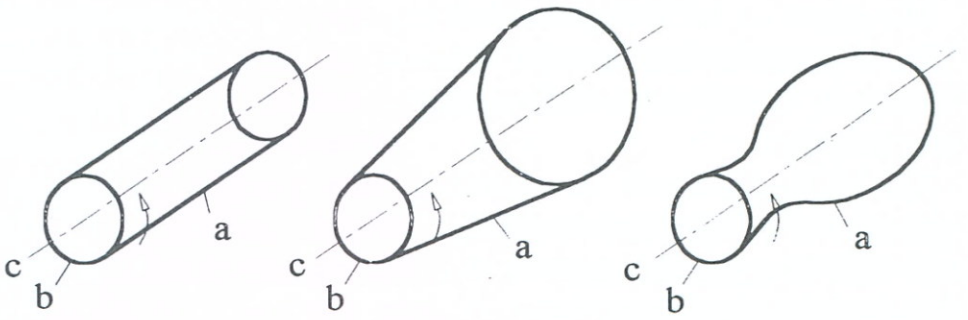
A CNC vezérlésű eszterga vagy esztergáló cella (L.3.8. fejezet) csak azokat a munkadarabokat tudja készre munkálni, melyek felületelemei forgástengelye megegyezik a főorsó tengelyével, mivel a forgó főmozgást a munkadarab a főorsóra fogva e körül a tengely körül végzi.

Általánosabban: hosszesztergáláskor az elméleti direktrix görbét a munkadarab forgó mozgása és a szerszám előtoló mozgása határozza meg (3.11.ábra). A generátor görbét, mely lehet egyenes (1,2 eset) vagy síkgörbe (3. eset) a vezérlés interpolátora, (a másolósablon, vagy kúpvonalzó) állítja elő. Az egyszerűbb 1. és 2. esetben a generátort az előtolásvektor adja.

Ha a munkadarabon a fenti követelményt nem kielégítő felületelemek (akár forgástestek is) vannak- és ez a forgástest jellegű munkadarabok többségénél így van - akkor az esztergán nem munkálható készre.

A 3.14. ábrán látható munkadarabon például a felfogó furatokat (a), a keresztirányú furatokat (c,d) fúrógépen, a b reteszhornyot pedig marógépen kellene megmunkálni.

Ez így összesen három szerszámgépet, többszöri átfogást (bázisváltási hiba) és nem utolsó sorban három gépkezelőt, anyagmozgatást igényel.



3.13. ábra. Forgásfelület generálás
a : generatrix görbe b : direktrix görbe c : forgástengely

Azt a CNC vezérlésű esztergából kifejlesztett szerszámgépet, amely egymaga képes pl. ennek a munkadarabnak a teljes megmunkálására **esztergáló központnak** nevezzük.

Milyen többletszolgáltatásokat tud ez a gép az esztergához képest?

- Főorsójával mellékmozgásra, annak tengelye körüli vezérelt forgómozgásra (C tengely) legyen képes. Erre a mozgásra a nem esztergálással készülő felületelemek (a,b,c,d) helyzetének beállítására, vagy bonyolultabb felületelemek (pl.spirálhorony) marásakor forgó előtoló mozgásként van szükség.
- Bizonyos (furó-maró) szerszámaival forgó főmozgást is végez. Ezek a szerszámok a szerszámtartó (legtöbbször revolverfej) bizonyos szerszámhelyein vannak, vagy külön szánrendszerük (furó-maró szán) van. (3.17.ábra)

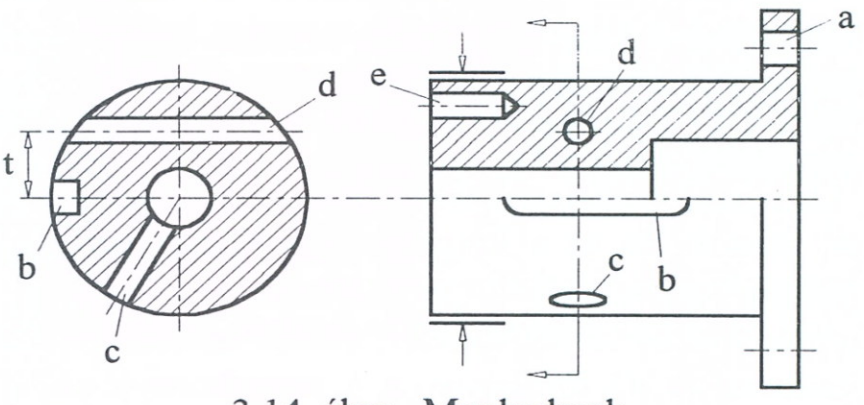
Ehhez általában külön szerszámtár és szerszámcserélő is tartozik. A leggyakoribb megoldás a revolverfejbe telepített forgó szerszámfej.

Mivel a revolverfej és a főorsó relatív helyzete mindig olyan, hogy annak főorsóra (Z tengely) merőleges mozgása a szerszámot a főorsó és így a munkadarab forgástengelyét metsző, sugár irányba viszi - (ez az alapfunkció (esztergálás) fogásvételi mozgása miatt kell, hogy így legyen,) így a 3.14. ábra c furatát háromtengelyes (X,Z,C) esztergáló központon meg lehet munkálni, de a d furatát már nem. Ehhez vagy speciális, a fúrást t távolságra eltoló szerszámbefogó, meghajtó fej szükséges, vagy a szerszám és a munkadarab relatív elmozdulása egy újabb -Y- tengely mentén is lehetséges kell, hogy legyen.

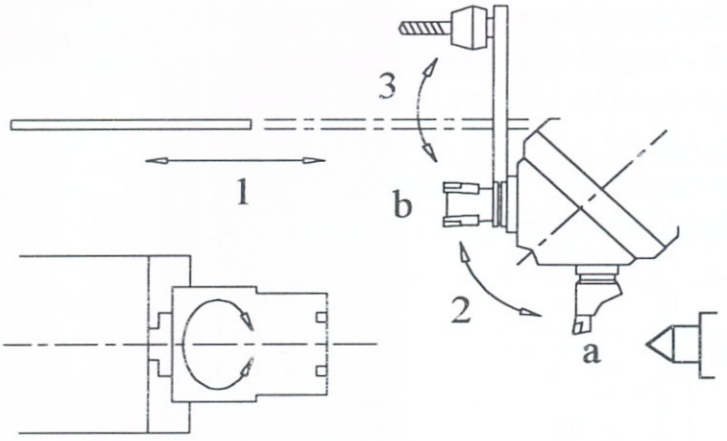
Ezzel a négytengelyes (X,Y,Z,C) esztergáló központtal már a munkadarabok nagyon széles választékát meg lehet munkálni.

Az Y tengely megvalósításának egy lehetőségét a 3.16. ábra mutatja. (Az Y irányt az X és Y' mozgás eredője adja.)

Amennyiben a munkadarab befogási módja olyan, hogy az egy felfogásban - akár esztergán, akár esztergáló központon - nem munkálható meg, mivel bizonyos felületeit (befogási bázis) a munkadarabbefogó készülék eltakarja, a munkadarabot 180°-kal átfordítva, újra befogva lehet csak a megmunkálását befejezni.

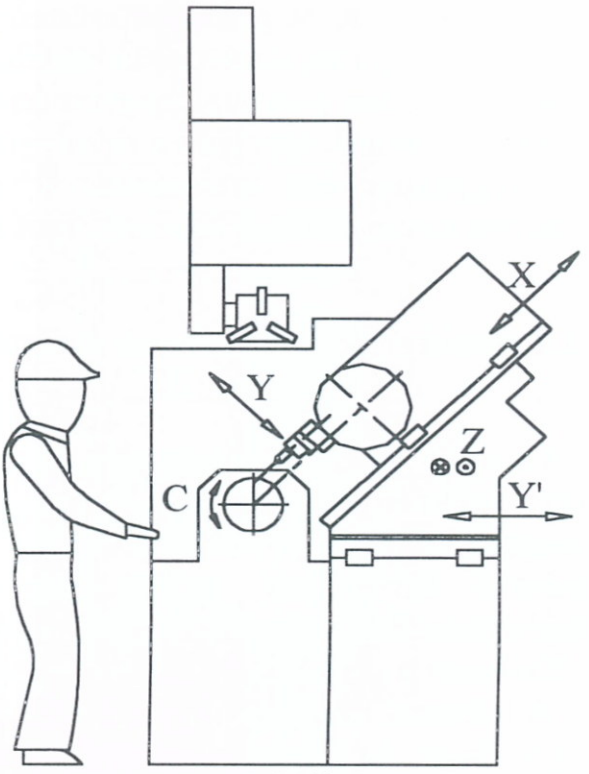


3.14. ábra. Munkadarab



3.15. ábra. Fúró-maró szános esztergáló központ (MAZAK)

1 : szerszámcserélő burkolat mozgatás
2 : kéthelyes revolverfej váltás
3 : szerszámcsere
a : álló (esztergáló) szerszám / működési helyzet
b : forgó (fúró-maró) szerszám / cserélési helyzet



3.16. ábra. Négytengelyes esztergáló központ mozgásrendszere (MAZAK)

Ezt az átfordítást vagy kézzel, vagy - gyártócellánál - a munka-darabmozgatást végző, célszerűen kettős megfogószerkezetű ipari robottal el lehet végezni, végeztetni. Ennek ideje azonban a mellékidőt növeli és pontossága sem mindig megfelelő.

Ha az eszterga, esztergáló központ **két**, egymással szemben elhelyezkedő, vagy egymással szembeni helyzetbe hozható **főorsóval** rendelkezik, akkor ezt az átfogást a két főorsó révén a, tulajdonképpen két esztergát egyesítő gép megoldja. Ezeknek a kétorsós gépeknek két alaptípusa van:

- az **ikerorsós** gép, melynél a két főorsó megosztozik a megmunkálási feladaton. Ekkor a két főorsó azonos teljesítményű és a gép gyakran szimetrikus felépítésű.
- a **segédorsós** gép, mely második főorsójának csak az a feladata, hogy az első főorsóhelyen - a fentebb vázoltak miatt - nem elvégezhető műveleteket (pl.3.14. ábra a furat fúrása) ezen a helyen el lehessen végezni. A segédorsó teljesítménye lényegesen kisebb és gyakran C tengelye is csak osztó mozgást (pl.2-5^{o}-onkénti léptetést) végez.

A korszerű hajtástechnika a két orsó nagyon pontos együttfutását, egymáshoz képesti pozicionálását biztosítja. Ez lehetővé teszi hosszú munkadarabok végének a jobboldali orsóval történő megtámasztását, vagy nem forgásszimmetrikus, pl. hasáb alakú munkadarabok speciális tokmányokkal történő menet közbeni átvételét. (n=1000 f/min-nél $\pm 0,1^{o}$ pontossággal).

A kétorsós esztergáló központra épülő cella (igazán még megfelelő elemzés nincs rá) sokoldalúságával, különösen kisebb méretű, vagy nehezen befogható munkadarabok megmunkálása esetén a "hagyományos" megmunkáló központ komoly vetélytársa.

Azok a típusai, amelyek a revolverfej elhagyásával egy álló és egy forgó szerszámhellyel és nagykapacitású szerszámtárral, szerszámcserélővel rendelkeznek a kétféle központ közötti koncepcióbeli hasonlóságot még jobban felvállalják.(3.15. ábra)

3.4. Szekrényes alkatrészek megmunkálógépei

Az előző fejezetben ismertetett esztergáló központok is képesek síkfelületekkel határolt un. **szekrényes alkatrészek** megmunkálására. Az ilyen alkatrészek hagyományos megmunkálógépei azonban a sík felületeket megmunkáló **marógépek**, a furatokat készítő **fúrógépek,** a két gép kombinációját jelentő **fúró-maró művek** és a legkorszerűbb megoldást jelentő **megmunkáló központok**.

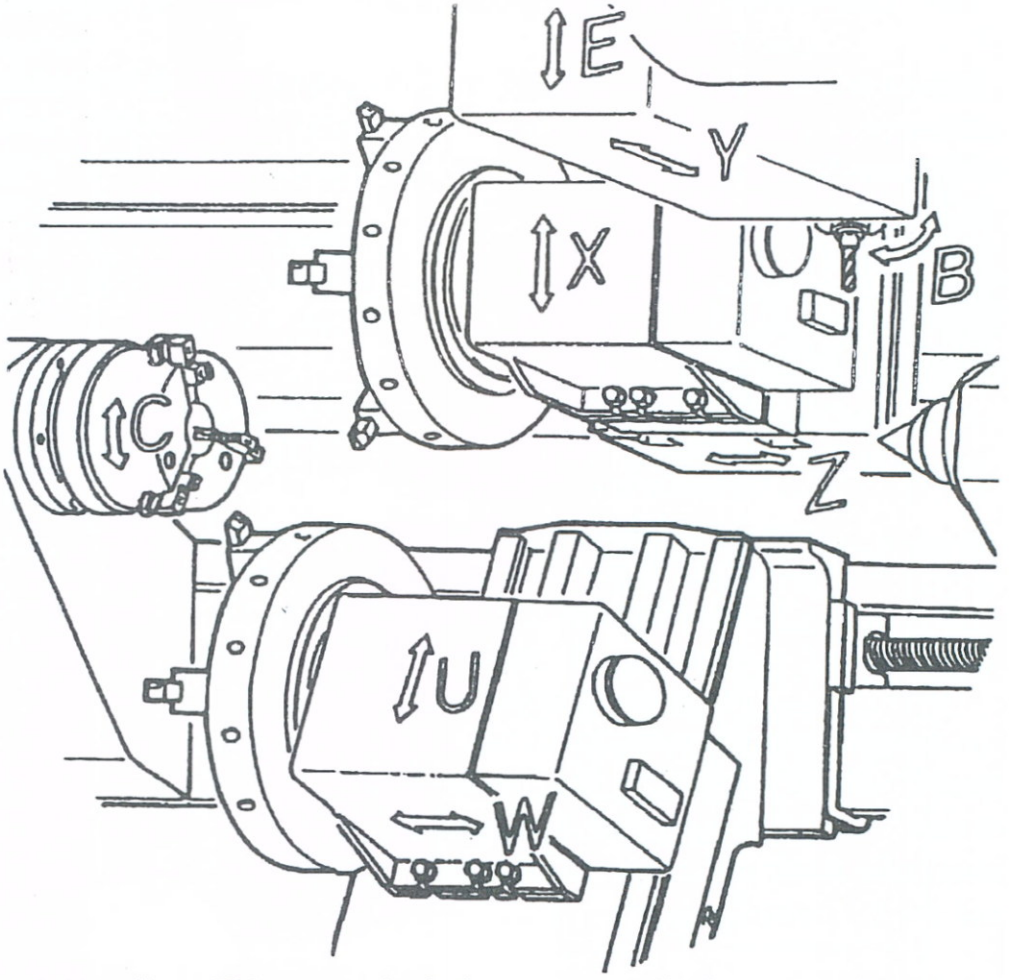
Ezeknek a gépeknek közös jellemzői a következők:

A jellemző szerszám szabályosan többélű-maró, fúró szerszám.

(A fúrási és marási technológia hasonlósága, egy gépen való elvégezhetősége miatt gyakran fúró-maró gépről beszélünk).

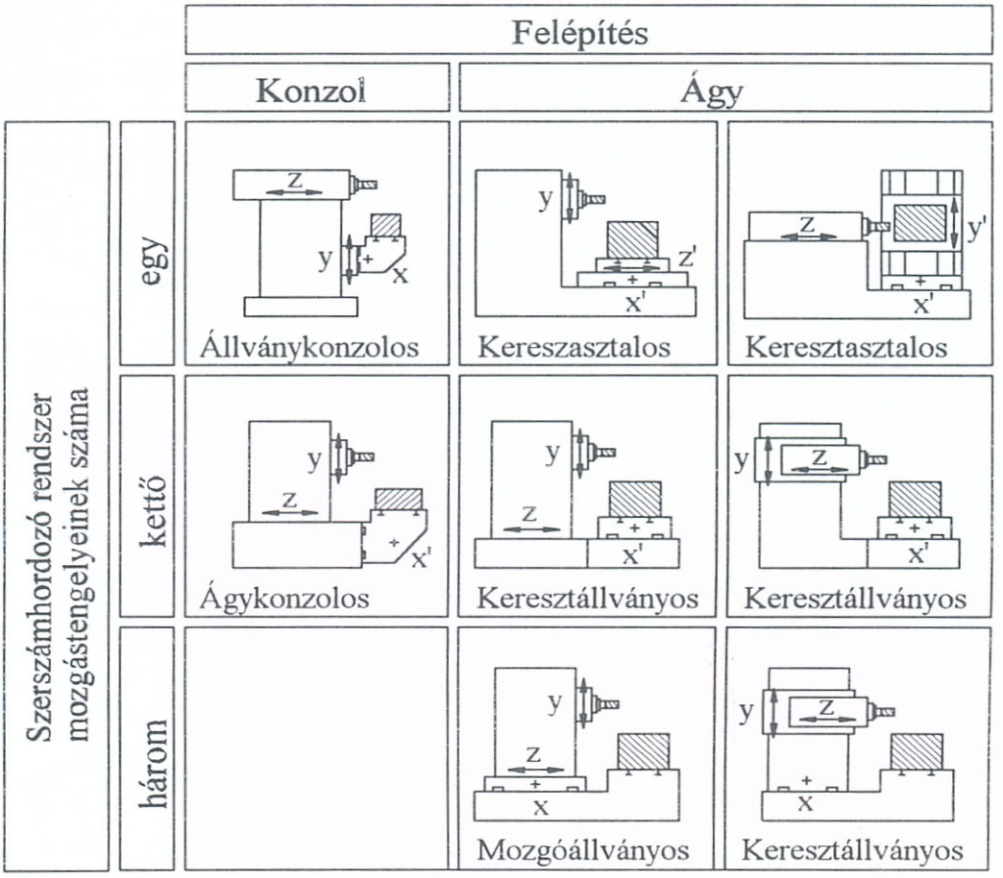
3.4.1. Marógépek

Marásnál a forgó főmozgást a szerszám végzi. Az előtoló mozgás legtöbbször a szerszám forgástengelyére merőleges irányú. Ezt végezheti a szerszám és a munkadarab is. A (fúró)marógépek leggyakoribb vízszintes főorsójú kiviteleit a 3.18. ábra, függőleges főorsójú kiviteleit a 3.19.ábra mutatja leegyszerűsített vázlatokon, a mozgásrendszer szerszám és munkadarab alrendszer közötti megosztását is alapul véve. (A méretreállási és előtoló mozgásokat vagy a

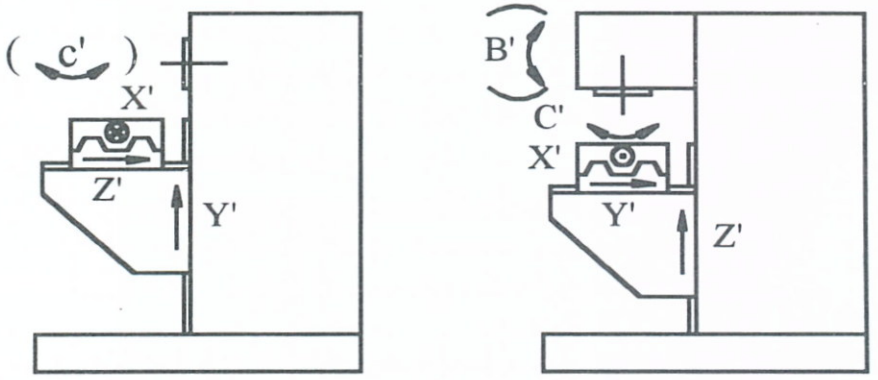


3.17. ábra. Két szerszámhelyes esztergáló központ (Voest-Alpine)

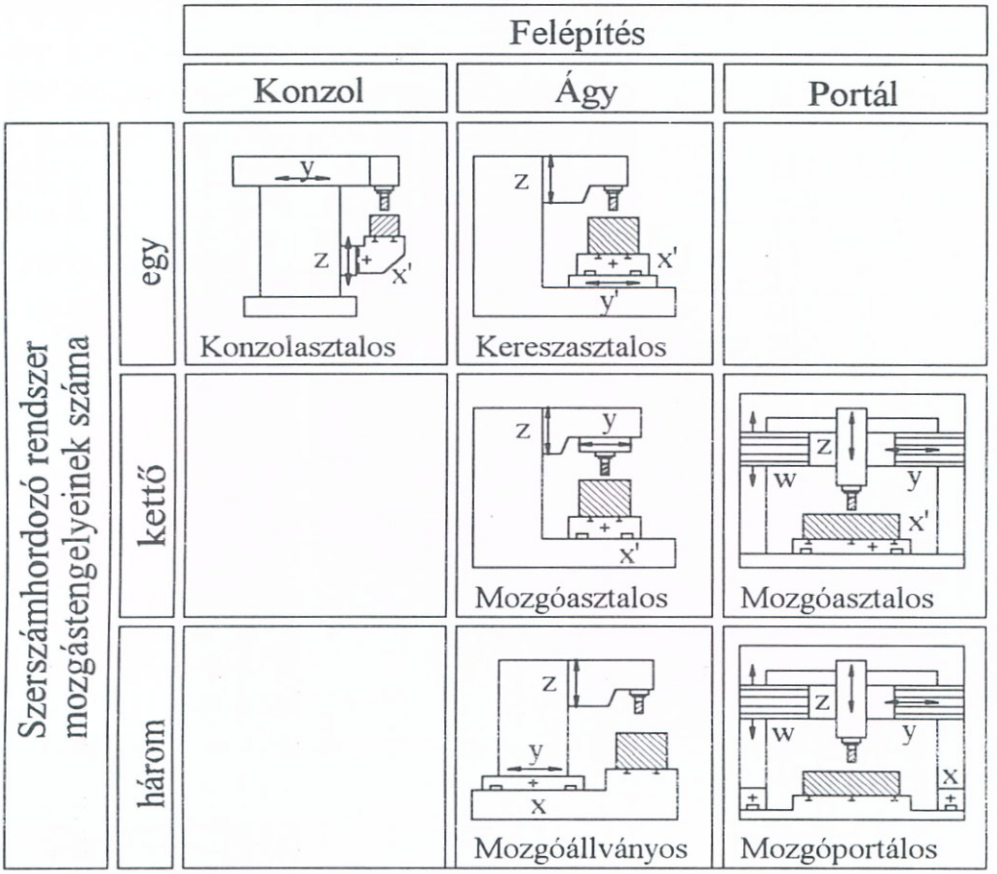
szerszámhordozó orsóház, vagy a munkadarabhordozó asztal végzi).
Figyelemreméltó, hogy függőleges főorsójú gépből kevesebb építési változat van.



3.18.ábra. Vizszintes főorsójú (fúró)marógépek alaptípusai (M.Weck)



3.20. ábra. Konzolos marógép
a: vizszintes, b: függőleges főorsójú.



3.19.ábra. Függőleges főorsójú (fúró)marógépek alaptípusai (M.Weck)

A marógépeket a típus megadása mellett a beépített teljesítmény (főhajtómű és előtolóhajtóművek), a főorsó átmérő, csatlakozó kúp, asztalméret, orsóelrendezés, vezérlési mód (kézi, programvezérlésű, CNC) adataival szokták jellemezni.

A legelterjedtebb, legtöbbször kézi vezérlésű marógép a **konzolos marógép**.

Ennek vizszintes illetve függőleges változatát a 3.20.ábrán lévő vázlatok mutatják.

Ezek a gépek a munkadarab egyszerű és sokirányú beállíthatóságát biztosító konzolos asztalszerkezettel, a könnyű hozzáférhetőséggel az egyedi és kissorozatgyártás kedvelt marógépei.

Amennyiben az asztal előtolási iránya változtatható (az asztal a C tengely körül elfordítható) az **univerzális marógépnek** nevezett szerszámgép áll előttünk.

Ha a függőleges főorsó billenthető (B tengely körül), akkor ferde helyzetű síkfelületek marása is könnyen megoldható.

Az univerális/egyetemes marógép gyakori tartozéka az **osztófej**.

Ezt a gép asztalára szerelve és a munkadarabot ebben befogva ismétlődő felületelemekből álló alkatrészek (bordástengely), az előtoló mozgással szinkronban forgatva pedig menetek (spirálhorony) is marhatók. (A tengely)

(A CNC vezérlésű változatoknál a C′ tengelyt gyakran osztóasztal vagy folyamatos körasztal valósítja meg).

A konzolos marógép összetett és konzolos szánszerkezete nem elég merev. Ha az asztal a konzolon kifelé halad a terhelő erő karja, s így a lehajlást okozó nyomaték növekedtével a lehajlás is nő. Ez különösen pontos síkfelületek marását nehezíti meg.

A 3.18.ábra állványkonzolos és a 3.19.ábra konzolasztalos kivitelű gépei, az Y illetve Z irányú mozgást a szerszámmal végzik. Ezeket a marógépeket **szerszámmarógépeknek** nevezik.

A szerszámmarógép munkadarabfelfogó asztala könnyen és gyorsan cserélhető. A különféle, egymáshoz képest ferdén elhelyezkedő munkadarab felületekhez könnyű szerszámhozzáférést biztosító szögasztalok, ferde felfogó elemek is felszerelhetők.

A nagyobb tömegű munkadarabok megmunkálására **hosszmarógépeket** alkalmaznak. Ezeknél, a konzolos marógépektől eltérően a szán (a munkadarabasztal) a gépágyon csak vizszintes síkban, a gépágyon megvezetve mozog.

(Ezért, gyakran ágyas marógépeknek is nevezik ezeket).

A 3.18. és 3.19. ábrákon az ágyas marógépek (hosszmaró gépek) legfontosabb alaptípusai is láthatók. (Leggyakoribbak a keresztasztalos változatok).

A nagyméretű, szekrényes alkatrészek négy oldala (esetleg fedőlapja) fúrási, marási műveleteinek elvégzésére alkalmazzák a **fúró-maróműveket**.

Ezek tulajdonképpen vizszintes orsójú hosszmarógépek, melyeknél a munkadarabot - éppen a négyoldali hozzáférés miatt - osztóasztalra helyezik. Jellegzetes elemeik a főorsó forgásával összehangolt gépi előtolást (Z tengely) végző főorsó vagy főorsóhüvely és a főorsó közé épített síktárcsa és a rajta lévő, radiális előtolást végző síktárcsaszán.

Különösen merev, nagyméretű munkadarabok nagyteljesítményű megmunkálására alkalmas a **portál-marógép**.

Kétféle változata ismert: a gyakoribb mozgóasztalos és ritkább mozgóportálos.

A mozgóasztalos gép vezetéke és így maga a gép kétszer olyan hosszú, mint a gépasztal. A mozgóportálos gép pedig mivel az asztal áll, körülbelül asztalméret hosszúságú.

A portál oldalán és a le-fel mozgatható gerendán több maróegység is elhelyezhető. Így nagy (100-150 kW)beépített teljesítmény mellett nagytermelékenységű gép áll rendelkezésünkre. Ezek a kivitelek mind CNC vezérlésűek.

Az eddig ismertetett marógépek müködtetése vagy kézzel, vagy automatikusan (elektromechanikusan vagy CNC-vel vezérelve) történik.

Bonyolult (un.szoborszerű) felületek megmunkálására a **másoló marás** elterjedten alkalmazott eljárás. Ekkor a munkadarab modelljét letapogató érzékelő tapintó vezérli a szerszám és a munkadarab relatív elmozdulását. A másoló marógépek vizszintes és függőleges főorsójú, többorsós kivitelű, tükörkép marásra is alkalmas változata is ismert.

Vannak olyan másoló marógépek, melyek CNC vezérléssel is el vannak látva. Így mindkét- másoló és CNC- üzemmódban működhetnek.

A CAD/CAM technika fejlődésével párhuzamosan a másoló marás jelentősége csökken.

A marógépek számos további változata létezik. Így: menet-marógép, pontográf marógép, horonymarógép, forgattyústengely marógép, véglap-marógép.

A különféle fűrészgépek - szalagfűrész, tárcsafűrész - is a marógépekhez sorolhatók.

3.4.2. Fúrógépek

Fúrásnál a forgácsleválasztás az - általában szabályosan többélű - szerszám forgó főmozgása és a szerszám forgástengelye irányú, a szerszám vagy a munkadarab által végzett előtoló mozgás eredménye.

Lényegében az eljárástól - fúrás csigafuróval, fúróruddal, süllyesztés, dörzsölés, menetfúrás- függetlenül ugyanazok a fúrógépek alkalmazhatók.

A fúrógépeket legcélszerűbb a legnagyobb fúrható átmérővel jellemezni.

A mindenki által használt **kézi fúrógép** társai, a különféle fúrógépek a 3.21. ábrán láthatók.

A fúrógéptípusokat a fenti ábra sorrendjében ismertetjük.

a) **Asztali fúrógép.** Kisméretű alkatrészek kisátmérőjű fúrására használatos műhelygép. Előtolás kézzel. Gyakran a készülékbe fogott munkadarabot is a kezelő tartja helyzetben.

b) **Oszlopos fúrógép**. A csőalakú oszlopra rögzített orsószekrényben a főorsó gépi előtolást is végezhet. Az asztal magassági irányban állítható, nem kitámasztott.

c) **Állványos fúrógép**. A zárt szelvényű állványon a fúróorsószekrény is mozgatható. Az asztalt kitámasztása merevebbé teszi. Az oszlopos fúrógéphez hasonlóan többfokozatú fő-és előtolóhajtóműve van.

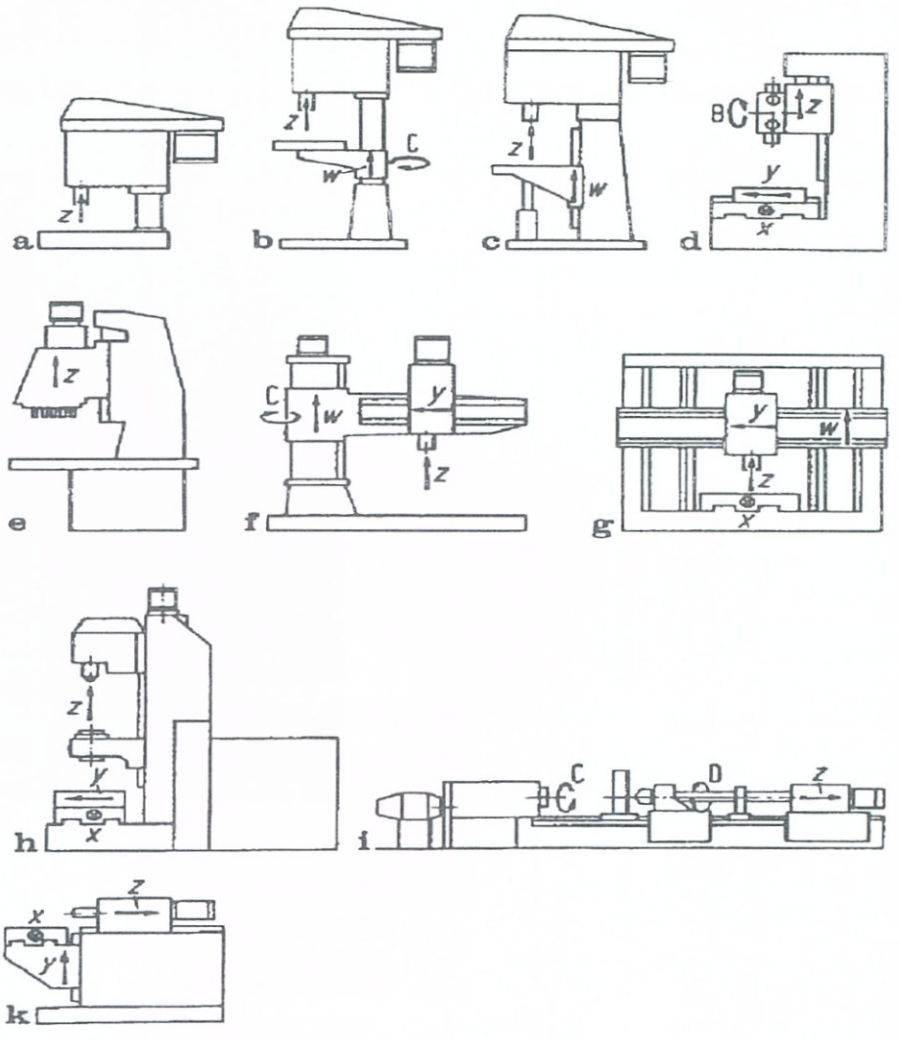
d) **Revolverfejes fúrógép.** A revolverfejben automatikusan munkahelyzetbe állítható szerszámok vannak. Merevebb kivitele, az ábra szerinti szánokkal marógépként is használható.

CNC vezérlésű változata is van. Ilyen egységekből gyártósorok is építhetők. (L.3.6.fejezet).

e) **Többorsós fúrógép.** Az oszlopos fúrógéphez hasonló felépítésű gépeket a sorozat- vagy tömeggyártásban használják. Az egyes orsók a hajtásukat kardáncsuklós tengelyekről kapják. (Un. ágas fúrógép) A furatkép bizonyos korlátok között átszerelhető vagy átállítható.

A célgép egységek gyakran használt típusa a többorsós fúróegység.

f) **Sugárfúrógép.** A körcikk alapú munkaterű sugár-fúrógép általában sokféle furatot tartalmazó kis és



3.21.ábra. Fúrógéptípusok (Dubbel-Taschenbuch)

közepes sorozatnagyságú munkadarabok gyártására alkalmazott fúrógép. Forgatható munkadarabbefogó készüléket a gépasztalra helyezve többoldali megmunkálásra is alkalmas.

g) **Helyzetfúrógép, koordinátafúrógép.** Furatok nagy helyzet és méretpontossággal történő megmunkálására, elsősorban a szerszám és idomszergyártásban használatos fúrógép. Általában klimatizált környezetet igényel.

h,i) **Hosszlyukfúrógép.**

A függőleges és vízszintes orsóelrendezéssel is készülő fúrógép hosszú,1:3 - 1:200 l/d viszonyú furatok gyártására alkalmas. A hűtő-kenő folyadék hozzávezetés, a forgácseltávolítás különleges szerszámot és gépkonstrukciót igényel. A főmozgást végezheti a munkadarab, a szerszám vagy mindkettő, szembe forgatva.

k) **Finomfúrógép**. Nagy statikus és dinamikus merevségű, nagy csillapítású, nagy hőstabilitású felépítés, kis forgásteljesítmény, nagy főorsó fordulatszám jellemzi. Méret és helyzetpontossága elérheti az IT 5-ös, különös gondossággal az IT 4-es minőséget. Többorsós kivitele is használatos.

A fúrógépeknek még számos - gyakran a fenti típusokból származó változata ismert. Ezek közül a nagyméretű (kazán) lemezek furatait készítő többorsós, portálos fúrógépet és a nyomtatott áramkörű lapok nagysebességgel (50 m/sec) pozicionáló fúrógépét említjük meg.

3.4.3. Megmunkáló központok

A gyártóeszközök termelékenységével szemben támasztott növekvő követelmények kielégítésére jöttek létre a **megmunkáló központok**, melyek különféle műveletek, mint fúrás, marás, dörzsölés, menetvágás, stb. egy gépen, egy felfogásban történő elvégzését, a munkadarab készremunkálását teszik lehetővé.

A megmunkálóközpont fontos sajátosságai: a CNC vezérlés, az automatikus szerszámcsere, a munkadarab négy oldalának megmunkálását lehetővé tevő osztó, forgó asztal.

A gép ezen felül különféle mérési és felügyeleti funkciókra, automatikus munkadarab (paletta) cserélésére is képes lehet.

A megmunkálóközpontokat kis-és középsorozatgyártásban előnyösen lehet alkalmazni, mivel magas automatizáltsági szintjük miatt a változó gyártási feladathoz gyorsan, esetleg automatikusan alkalmazkodni képesek.

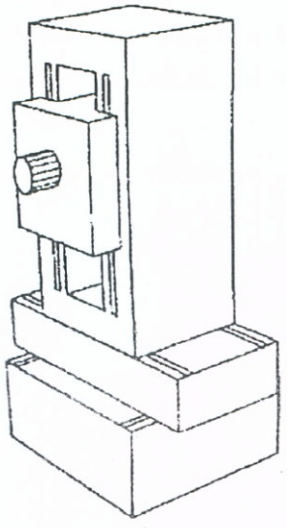
A munkadarabcserélővel ellátott megmunkálóközpontok képzik a rugalmas fúró-maró cellák, gyártórendszerek alapjait. (L.3.6.fejezet)

Elvileg megmunkálóközpontok épülhetnek a 3.18 és a 3.19. ábrán bemutatott fúró-marógép alaptípusok bármelyikére.

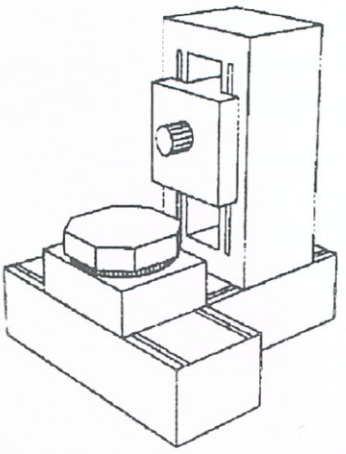
Az automatikus szerszámcserét biztosító tár és cserélőrendszer megfelelő főorsó közeli elhelyezhetősége, a három lineáris tengelyt kiegészítő egy, vagy két forgó tengely és az automatikus munkadarabcserét biztosító állandó asztalmagasság követelménye, mely a legtöbb megmunkáló központnál teljesül, néhány jellegzetes, (többségében) vizszintes, vagy függőleges főorsó elrendezésű gépmegoldást eredményezett.

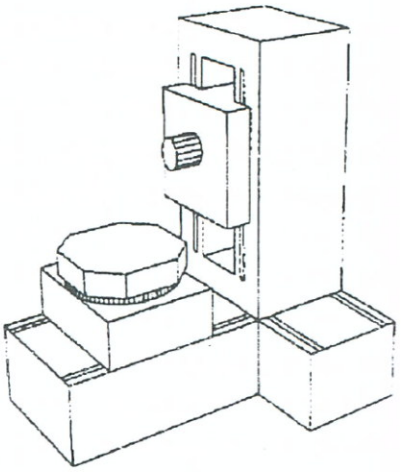
Különösen jól csatlakoztatható az automatikus munkadarab cserélőkhöz az állóasztalos megoldás. 3.22. ábra.

Elterjedt a két vizszintes mozgás megosztása: egyik irányban az asztal, arra merőlegesen az oszlop mozog, rajta a főorsószánnal (3.23. ábra.)

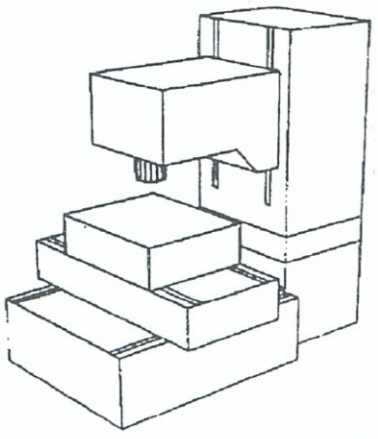


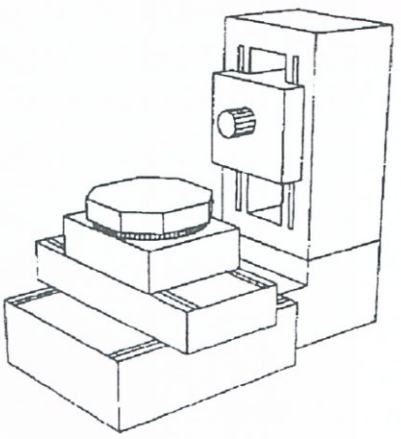
3.23. ábra. Mozgóasztalos megmunkáló központok



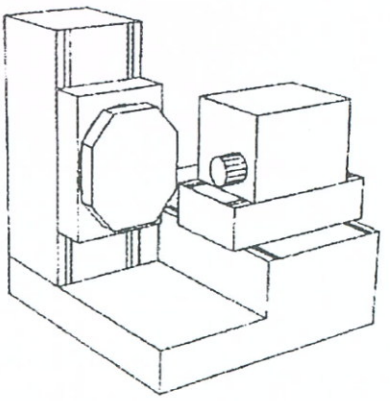


3.22. ábra. Állóasztalos megmunkáló központ (asztal nélkül)





3.24. ábra. Koordináta asztalos megmunkáló központ



3.25. ábra. Függőleges asztalsíkú megmunkáló központ

Sok gépen a két vizszintes mozgatást az asztal végzi, (koordinátasztal konstrukció) (3.24.ábra), másoknál az oszlop (álló asztalos elrendezések) (3.22.ábra)

A két vizszintes asztalmozgás a különböző felépítésű gépeknél eltérő módon oszlik meg.

A korszerű gépek szimmetrikus felépítésűek, ami azt jelenti, hogy középső helyzetbe állított szánok esetén a főorsószánon átmenő és a hosszmozgásra merőleges sík a gép szimmetriasíkja. (Legalábbis a vezetékek és szánok tekintetében). A szimmetrikus gép

statikus, dinamikus és hődeformációs szempontból kedvezőbb, mint azonos súlyú aszimmetrikus párja.

A gépfelépítés kialakításánál fontos szempont a jó forgácselvezetés. Kisebb gépeknél ezt az asztalvezetés függőleges síkja (sajnos nem szimmetrikus elrendezés mellett) biztosítja (3.25.ábra) a legjobban.

A vízszintes főorsójú megmunkáló központok csaknem mindegyikén az asztalrendszerbe beépített vízszintes asztalsíkú, függőleges forgástengelyű **forgóasztal** van. Ez az elrendezés lehetővé teszi, hogy a főorsó a munkadarab oldalaihoz körben hozzáférjen.

Két forgóasztal fajta van, melyek feladata és konstrukciós felépítése egymástól lényegesen eltér: a folyamatos forgású és az osztó (indexelő).

A folyamatos forgású asztal a lineáris tengelyek forgó analógja. Programból lehet vezérelni a forgómozgás értelmét, véghelyzetét és szögsebességét. Az asztal álló és forgó helyzetében is lehet forgácsolni.

Az osztó asztalok csak arra szolgálnak, hogy a munkadarabot a lehetséges véges számú szöghelyzetek valamelyikébe elforgassák. Kiemelt jelentősége van a 90^{o}-onkénti elforgatásnak, mert a munkadarabok döntő többségén egymásra merőleges irányokban kell forgácsolt felületeket készíteni. Szöghelyzet-váltás közben osztó asztalnál forgácsolni nem lehet, a forgás sebessége nem programozható, értelme pedig vagy rögzített, vagy olyan, hogy az asztal a rövidebb íven fordul.

A megmunkáló központ jellegzetes építőeleme a **szerszámtár** és az automatikus **szerszámcserélő**.

Mivel a gép csak több szerszámmal tudja készre munkálni a darabokat, mert különösen furat megmunkálásnál a szerszámok erősen specializálódnak, csak egy-egy furatméret, alak-és felületi minőség létrehozására alkalmasak. Az automatikus munkafolyamatba beletartozik a főorsóban lévő szerszám kicserélése a következő megmunkálási részlethez (műveletelemhez) szükséges szerszámra. Ez lényegében szállítási feladat. A mindenkori dolgozó szerszám a főorsóban van, a munkadarab elkészítéséhez szükséges többi szerszám pedig rendezetten a szerszámtárban helyezkedik el. A főorsóban lévő szerszámot el kell szállítani a tár egy kijelölt tárolóhelyére, a tár másik helyéről pedig az új szerszámot kell a főorsóba szállítani. Másodlagos folyamatként mind a tároló helyeknél, mind a cserélő szerkezetnél, mind a főorsóban rögzítés és oldás, megfogás és elengedés zajlik le összehangolt módon, amikor a tár, a cserélő és a főorsó stafétabotként egymásnak adják át a szerszámot. A biztonság, mint magától értetődő követelmény után a legfontosabb követelmény a gyorsaság.

A szerszámtárak három fő típusa terjedt el: a dobtárak, lánctárak és egyenes tárak. A dobtár egyszerű kör alakú tárcsa, melynek kerületén vannak a szerszámtartók. Rossz a helyzetkihasználása, mert adott kerülettel éppen a körnek van a legnagyobb területe. A lánctár, mint neve is mutatja, speciális tagokból felépített lánc, ahol a tagokra egy-egy szerszámtartó elemet erősítenek. A lánc terelőkerekeken vezetve többszörösen "összehajtogatott" S alakú formát vehet fel, ahol a kerület/terület arány már sokkal jobb, mint a körnél.

Az egyenes táraknál a szerszámok egy léctestben, egyenes vonalban helyezkednek el. Több léc összetett sík tárat alkothat.

A tár különálló tartón, álló vagy mozgó géprészen is elhelyezkedhet. A szempont az, hogy a főorsószán a lehető legkevesebb mozgással érje el a cserehelyzetet.

Kisebb gépeknél kevés szerszám esetén alkalmazott megoldás az, amikor a tár és a főorsó közvetlenül adja át egymásnak a szerszámot. Ebből egyrészt az következik, hogy vagy a tár mozog a főorsóhoz, vagy fordítva, másrészt a régi és az új szerszám mozgatása csak időben egymás után valósítható meg. A szerszámcserélő kar legtöbbször kétkaros.

A korszerű megmunkálóközpont tartozéka a **palettacserélő**. Az asztaltető felső részét (100-200 mm vastag lapot, a palettát) vezérelhető rögzítés köti az asztal alsó részéhez, a paletták méretei, kialakítása szabványosított.

A géppel együtt szállított két paletta közül az egyiken a darab megmunkálása folyik, a másikon pedig ezalatt a gépkezelő kicseréli az elkészült darabot a következő nyers darabra. A tulajdonképpeni palettacsere automatikus folyamat, melyet a megmunkálási programba be kell építeni.

Első részében a cserélő berendezés az elkészült munkadarabot hordozó palettát lehúzza az asztalról és ráhúzza az egyik fogadóhelyre. A második részben a palettacserélő a másik fogadóhelyen lévő palettát rátolja a gépasztalra.

Az előzőekből következik, hogy a palettacserélőnek két paletta fogadására alkalmas helye van, és mindkét helyről kétirányú palettamozgást tud elvégezni. A konstrukciós megoldás nagyon sokféle.

A palettacserélő alkalmas arra, hogy összekötő tag legyen a szerszámgép és külső munkadarabellátó rendszer között. Ehhez biztosítani kell, hogy a cserélő ne csak a gép felé, hanem a szállítópálya felé is el tudja végezni az anyagmozgatást a paletta felrakást és levételt.

A felügyelet nélküli (pontosabban részben felügyelet nélküli) üzemre is alkalmas megmunkálóközpontok (gyártósejt, gyártócella) palettacserélő berendezése az előkészített többi palettát sorban fel tudja rakni a gép asztalára.

Paletták segítségével végzik el az automatikus munkadarabellátást a rugalmas integrált gyártórendszerekben is. (L.3.6.fejezet)

3.5. Ipari robotok alaptípusai

Az **ipari robotok**, mint szabadon programozható **manipulátorok** az anyagmozgató berendezések leguniverzálisabb, legflexibilisebben alkalmazható csoportját alkotják. Bonyolult mozgásviszonyaik lényegét a 3.1.2. fejezetben már tárgyaltuk.

Az ipari robotok egyszerűbb elődei a különféle adagoló, ki-berakó eszközök a manipulátorok változatos sokasága. Ezek sok esetben, különösen ritkán változtatandó feladat (mozgásciklus) megvalósítására eredményesen alkalmazhatók.

Az ipari robotok legfontosabb jellemzőinek, alaptípusai felépítésének összefoglalását a VDI 2861 szabványjavaslat alapján ismertetjük.

A robot mozgástengelyét (szabadságfokait) alap vagy fő-, és segéd vagy melléktengelyekre szokták osztani.(3.26.ábra)

A főtengelyek a munkatér alakját döntően befolyásolják. Ezek viszik az aktuátort (megfogó, szerszám) a munkatér kijelölt helyére. A segédtengelyek pedig az aktuátor kívánt helyzetét (orientációját) állítják be és a főtengelyek mozgásteréhez viszonyítva csak kis helyváltoztatást tudnak megvalósítni.

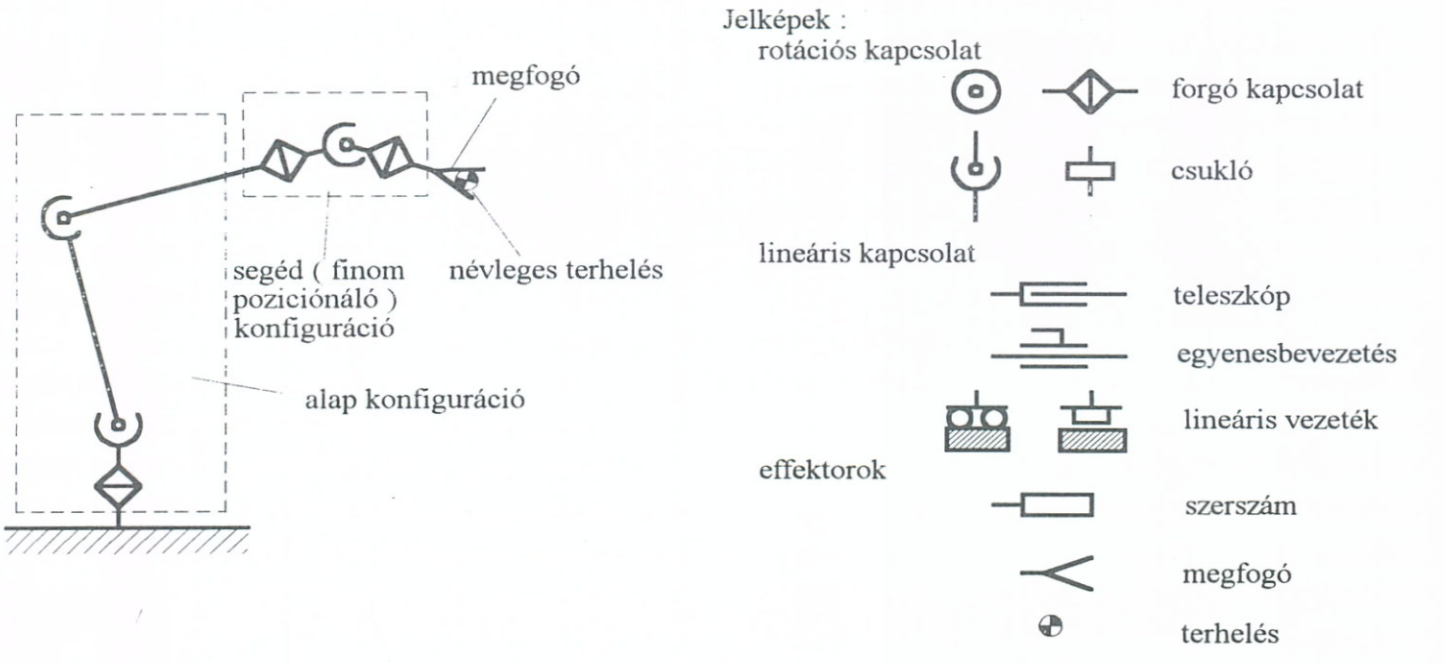
A fő mozgástengelyek lehetnek transzlációsak és rotációsak, a segédtengelyek általában rotációsak (csuklók).

Az ipari robot effektora pontosabban a robot mechanikus csatlakozó felülete, középpontja által bejárható tér a **munkatér**.

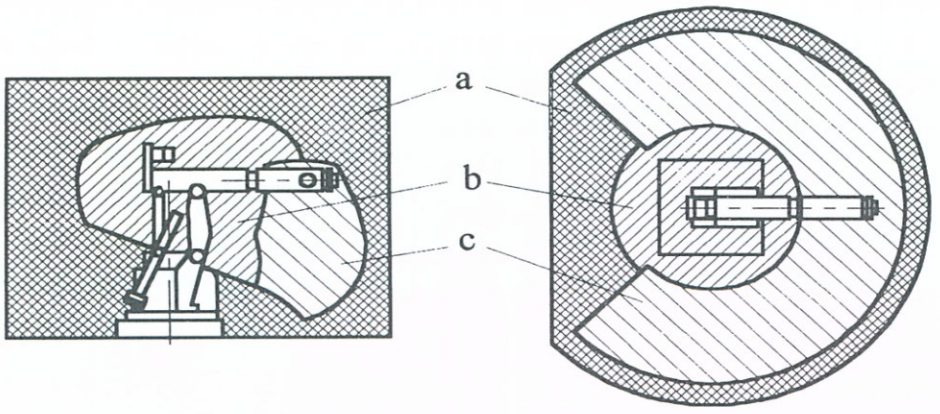
Ütközésvizsgálatokhoz, a robot körüli tárgyak (munkagép, perifériák, stb) elhelyezése tervezéséhez a **mozgástér** ismerete is szükséges. Ez az a tér amelyet a robot mozgása során a TCP elérhet. A mozgástér és a munkatér különbsége az un. **holt tér**, mely célszerűen kicsi kell, hogy legyen. (3.27. ábra)

A mozgástér köré, biztonságtechnikai okokból még egy biztonságos teret ráterítve kapjuk a **veszélyzónát**, melybe ha a robot működik, nem lehet belépni. (Mivel, már kisméretű robotok is komoly sérülést okozhatnak, ezért a veszélyzónákba behatolók a robot automatikus megállását váltják ki, megfelelő biztonsági berendezéseket működésbe hozva).

Az ipari robotok legfontosabb **terhelhetőségi** jellemzői a **névleges terhelhetőség**, mely a megfogó tömegének és a **hasznos terhelésnek** (pl.mozgatandó munkadarab tömege) az összege. A névleges terhelés az a tömeg, amit a robot minden korlátozás nélkül teljes munka-terében mozgatni tud. Gyakran megadják azt a **maximális terhelést** melyet a robot csak csökkentett mozgási sebességgel, vagy csak a munkatér bizonyos részén tud mozgatni. Az ipari robotok fenti és egyéb alkalmazástechnikai jellemzői, mint méretreállási, ismétlési, pályakövetési pontosság, túllendülés stb és azok meghatározási módja nemzetközileg szabványosított.(ISO 9283, 1.3.1.2.fejezet)



3.26. ábra. Robotkar konfiguráció és jelképi ábrázolása (VDI 2861)



3.27. ábra. Ipari robot mozgástér jellemzők (VDI 2861)
a, biztonsági tér; b, holttér; c, munkatér
veszélyzóna = a + b + c

Megjegyezendő, hogy a robotjellemzők a munkatérben pontról-pontra változhatnak. Ezt a robottal végzendő feladatot (pl.szerelés) munkatérbeli elhelyezkedéskor figyelembe kell venni.

A 3.28. ábrán a leggyakrabban használatos gyári robottípusok karrendszerei jelképes ábrázolása, a transzlációs és rotációs tengelyek megnevezései kerültek összefoglalásra.

Ipari robotokat nagyobb számban a hetvenes évek eleje óta alkalmaznak.

Ahogy már többször hangsúlyoztuk, a különféle adagoló szerkezetektől, manipulátoroktól a robotok a négy-hat szabadságfokú karrendszerük szabadon programozhatóságában különböznek elsősorban. A forgácsoló szerszámgépekkel összevetve az ipari robotok, különösen saját méretükhöz viszonyítva jóval nagyobb munkatérrel (0,5-30m^3) rendelkeznek, több a programozható mozgástengelyük száma (átlagos robot, átlagos szerszámgéppel összevetve), nagyobb a mozgási sebességük (0,5-6 m/s, szerszámgépeknél a gyorsmeneti sebességek érik csak el a 20 m/s-ot), programozási módjuk is eltérő. (Vannak, akik a különbség eltünését jósolják). Az ipari robotok több területen hátrányban vannak a forgácsoló szerszámgépekhez képest: elsősorban a nyitott kinematikai láncból adódóan statikai gyengeségük sokkal nagyobb (1 μm/N körüli, szerszámgépeknél 0,01μm/N), ismétlési pontosságuk is rosszabb (±0,05-±1mm, szerszámgépeknél ±0,01-±0,005 mm körül). Az ipari robotok dinamikus gyengesége, (kis sajátfrekvenciával és kis csillapítással) még inkább behatárolja alkalmazhatóságukat.

A fentebb összefoglalt robotjellemzők alapján azok alkalmazási területe szinte egyértelműen adódik.

Szerszámmozgatásra (**technológiai robot**) akkor alkalmas az ipari robot, ha az igény nagy munkatér, bonyolult mozgáspálya, kis merevség és ismétlési pontosság mellett: pont-és ívhegesztés, felületkezelés (festés, ragasztó-és tömítőanyag felvitel). Lézer, vízsugár és ultrahangos vágás esetén is alkalmaznak robotokat.

Finommegmunkálásra (marás, fúrás, köszörülés) a robot fentebb leírt gyengeségei miatt csak korlátozottan alkalmazható. Öntvény és műanyag alkatrészek sorjázása robottal a fentiek és főleg a bonyolultabb pályakövetési feladat miatt csak ez utóbbi eszközeinek (érzékelők, erő, nyomatékmérők a mechanikus csatlakozó felületnél) egyszerűsödésével, olcsóbbodásával terjed el. Szerelésre elsősorban nagyon gyorsmozgású (direkthajtású), kis munkaterű de nagy ismétlési pontosságú robotokat alkalmaznak, főleg az elektronikai iparban.

Munkadarabmozgatásra (**anyagmozgató robot**) a robot akkor jelent igazán jó

megoldást, ha a szabadon programozhatóság és a szenzorirányítású mozgáspálya fontos követelmény.(Szerszámgép kiszolgálás, palettázás, kommisiózás).

Sokoldalúságuk miatt az ipari robotokat még áttekinthetetlenül sok feladat elvégzésére alkalmazzák. Ezek közül néhány: mérési, ellenőrzési feladatok, szálerősítésű műanyagelemek gyártásakor a csévélőfej vezérlése, konfekcióipari anyagmozgatás, stb).Ezeket a robotalkalmazásokat gyakran az indokolja, hogy egy döntően sorozatgyártású robot legtöbbször még a szükséges átalakítások után is olcsóbb megoldás, mint egy célgép.

A nem ipari alkalmazások közül megemlíthető a gyümölcsszedő, vagy a birkanyíró robot, a haditechnikai alkalmazások, további lehetősége pedig a tudományos fantasztikus filmekből ismertek.

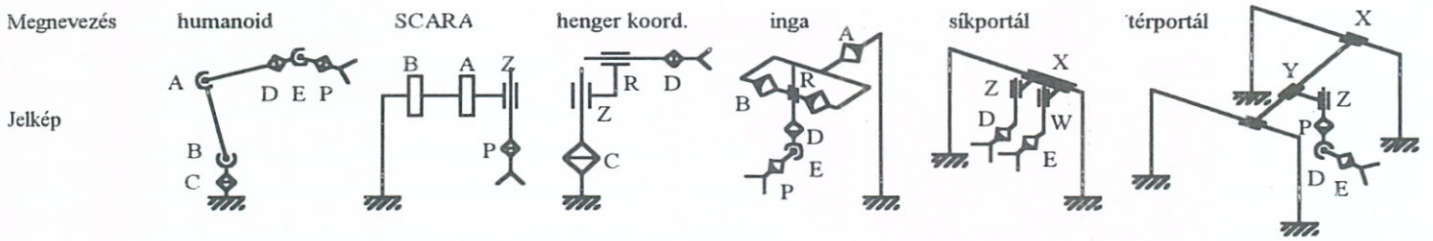
Egyre gyakoribb az embert közvetlenül kiszolgáló robotok - vakvezető, betegellátó, takarító stb, sőt az orvosi műtétekben aktívan résztvevő robotok alkalmazása is.

(Bizonyos alkalmazások un. önjáró robotokat igényelnek. Ezekről csak annyit említünk: az indukciós vezérlésű kocsi (AGV) is ilyen robotnak tekinthető).

A számtalan robottípus közül a leggyakoribbak kinematikai struktúrája a 3.28. ábrán látható, legfontosabb jellemzőiket pedig a 3.29. ábra foglalja össze.

A következőkben ezen robottípusok fontosabb szerkezeti jellemzőit mutatjuk be, esetenként egy konkrét típust ismertetve.

A humanoid robot utánozza legjobban az emberi kart.



transzlációs tengelyek: X : első vízszintes mozgástengely
Y : második vízszintes mozgástengely
Z: függőleges mozgástengely
V : y tengellyel párhuzamos mozgástengely
W : z tengellyel párhuzamos mozgástengely
R : radiális tengely
U : x tengellyel párhuzamos tengely

rotációs tengelyek: A : fő forgástengely
B : fő forgástengely
C : fő forgástengely, párhuzamos a z tengellyel
D : első mellék forgástengely
E : második mellék forgástengely
P : harmadik mellék forgástengely, vagy mellék forgástengely, párhuzamos a z tengellyel

3.28. ábra. Robotkarok jelképes ábrázolása és mozgástengelyei megnevezése. (VDI 2861)

Robottípus Karrendszer	Névleges terhelés /kg/	Tengelyek száma	Munkatér jellemző méretei (m)	Alkalmazási példák
Humanoid	6-100	5-6	R:1-2 M:0,8-3	pont és ívhegesztés, sorjázás,ragasztás, festés, szerelés
SCARA	2-8	4(5)	R:0,5-1 M:0,2	szerelés, beültetés
inga	3	6-7	L,SZ:0,95 M:0,35	szerelés, ragasztás
henger koord.	2-80	3-5	R:1-2 M:0,5-1	szerelés(kis robot) présgép kiszolgálás (nagy robot)
síkportál	10-500	2-4	L:2-20 M:0,5-2	szerszámgép kiszolgálás, átrakás
térportál	2-500	4-6	L:1,5-20 M:0,5-2 Sz:0,5-2	szerszámgép kiszolgálás, palettázás, ponthegesztés, szerelés

L: hosszúság; M: magasság; Sz: szélesség; R: sugár
3.29. ábra. A legfontosabb robottípusok jellemzői

Legismertebb típusai az Unimation cég Puma robotcsaládja, illetve ezek licenc alapján gyártott másolatai.

Ezeket a robotokat nagy mozgékonyságuk, un. jobbkar-balkar konfigurálási képességük jellemzi.

Azért, hogy a karrendszer minél könnyebb legyen, a segédcsuklók hajtásait is igyekeznek a karrendszer hátulsó részébe elhelyezni. Így ezek mintegy ellensúlyt is képeznek és az egész kar tehetetlenségi nyomatékát csökkentik. (L. 3.15. ábra)

A hajtás segédcsuklókhoz vezetése bonyolult csőtengelyes, egyszerűbb robotnál fogazott műanyagszíjas megoldást igényel.

A legtöbb ilyen robotnál az egyes segédcsuklók hajtása un. kinematikiailag csatolt hajtás. Ez azt jelenti, hogy egy segédcsukló mozgása az őt kinematikai struktúrában követő segédtengelyek elmozdulását is előidézi. (A 3.10. ábrán az E és P tengelyek az őket megelőzőkkel kinematikailag csatoltak). Ezt az elmozdulást a vezérlésnek automatikusan kompenzálnia kell, oly módon, hogy kiegyenlítő mozgást végeztet a kényszerűen elmozdult csuklóval.

A korszerű homanoid robotok szinte tetszőleges helyzetben pl. függesztve, falra szerelve is alkalmazhatók. Lineáris mozgatóegységre téve munkaterük "szélessége" tetszőlegesen növelhető (hegesztő robotoknál kedvelt megoldás).

A **SCARA robotkart** kifejezetten szerelési feladatokra tervezték. A vízszintes síkban, csuklói relatíve kis csavaró merevsége miatt viszonylag gyenge, engedékeny, ugyanakkor függőleges irányban merev. (Ld. 3.4. ábrát)

Ez a tulajdonság szerelésnél nagyon előnyös, mivel a legtöbb behelyezési művelet a pozícionálás után egy függőleges behelyező mozgást igényel, e közben a vízszintes síkban viszonylag rugalmas kar mintegy követi a behelyezendő elemet. Így annak beékelődése elkerülhető. (Az un. furat-csap probléma leírásának, vagyis e behelyezési folyamatnak óriási irodalma van).

Az **ingarobot** kinematikai felépítése azt a célt szolgálja, hogy egy szerelő munkahely munkaterében nagy sebességgel és gyorsulással mozogjon. A kar kardán felfüggesztésű, így a mozgó tömegek a forgásponthoz nagyon közel kerülnek.

Névleges terhelése 3 kg. Ez a robot is készül lineáris mozgatóegységre szerelve.

A **hengerkoordinátás robotkar** vezérléstechnikai okokból a legrégebbi robottípusok egyike: a koordinátatranszformációk és így a számítástechnikai feladat ennél a karrendszernél nagyon egyszerű. A mai modern vezérléseknél ez már nem olyan döntő szempont.

A régebbi robottípusok hidraulikus hengerekkel, az újabbak gördülőorsó-anya párokkal oldják meg a mozgatást.

A hosszú kinyúló robotkarral szűk, csak egy irányból hozzáférhető térbe is benyúlni képes robotokkal szerszámgépeket, présgépeket szolgálnak ki. Gyakran moduláris felépítésűek.

A **portálrobotok** egyszerűbb típusa az un. **síkportál** robot, mely forgácsoló szerszámgépek (különösen esztergák és köszörűgépek) kiszolgálására szinte szabványos megoldásnak számít, mivel a gépek munkaterébe felülről nyúlnak be és így a géphez való hozzáférést alig befolyásolják. Több egy sorban elhelyezett gép kiszolgálására, gyártó és szerelősoroknál is alkalmazzák.

A síkportál robot két alap mozgástengelyből áll, így elméletileg munkafelületről és nem munkatérről beszélhetünk.

Gyakran forgó segédtengelyhez csatlakozva, kettős megfogószerkezettel készül. Ezzel a megoldással a munkadarabcsere ideje jelentősen lerövidíthető.

A **térportál** robotok hasáb alakú munkaterükkel, nagyon kedvező munkatér-holttér arányukkal, különösen többmunkahelyes, nagy többperifériás gyártó, szerelőrendszernél kedveltek.

Többméteres mozgási utak esetén fogaskerék, fogasléc hajtásúak, kisebb méretek esetén fogazott műanyagszíjas mozgatásúak a lineáris tengelyek.

A megfelelően elhelyezett hajtómotorokkal elért kis tömegerők a véghelyzetekben működő hidraulikus csillapítók mind a gyors, megbízható működést szolgálják.

3.6. Rugalmas gyártócella, gyártórendszer

A rugalmas (flexibilis) gyártóeszközök (megmunkáló központok, gyártócellák, gyártórendszerek) különféle munkadarabok automatikus gyártására alkalmas berendezések, melyek a gyártási feladathoz történő gyors alkalmazkodást teszik lehetővé.

A gyakorlatban tehát a rendszer rugalmasságán (flexibilitásán) azt a tulajdonságát értjük, hogy az önállóan/automatikusan, vagy csekély emberi manuális beavatkozással, elemei elrendezése változtatása nélkül technológiailag hasonló feladatok elvégzéséhez alkalmazkodni tud.

A rugalmas gyártást igényli: a kis sorozatnagyság rövid átfutási idővel, a raktárkészlet csökkenése, a rövid szállítási határidő a gyártóberendezések magasfokú rendelkezésre állása és kihasználtsága mellett.

Ezen műszaki és gazdasági követelmények miatt a rugalmas gyártás átfogó gyártástervezési és szervezési feladatot jelent.

A 3.30. ábrán a különféle rugalmasságú gyártási módszerek összehasonlítása látható.

A rugalmas forgácsoló megmunkálás építőköve a **megmunkáló központ.**

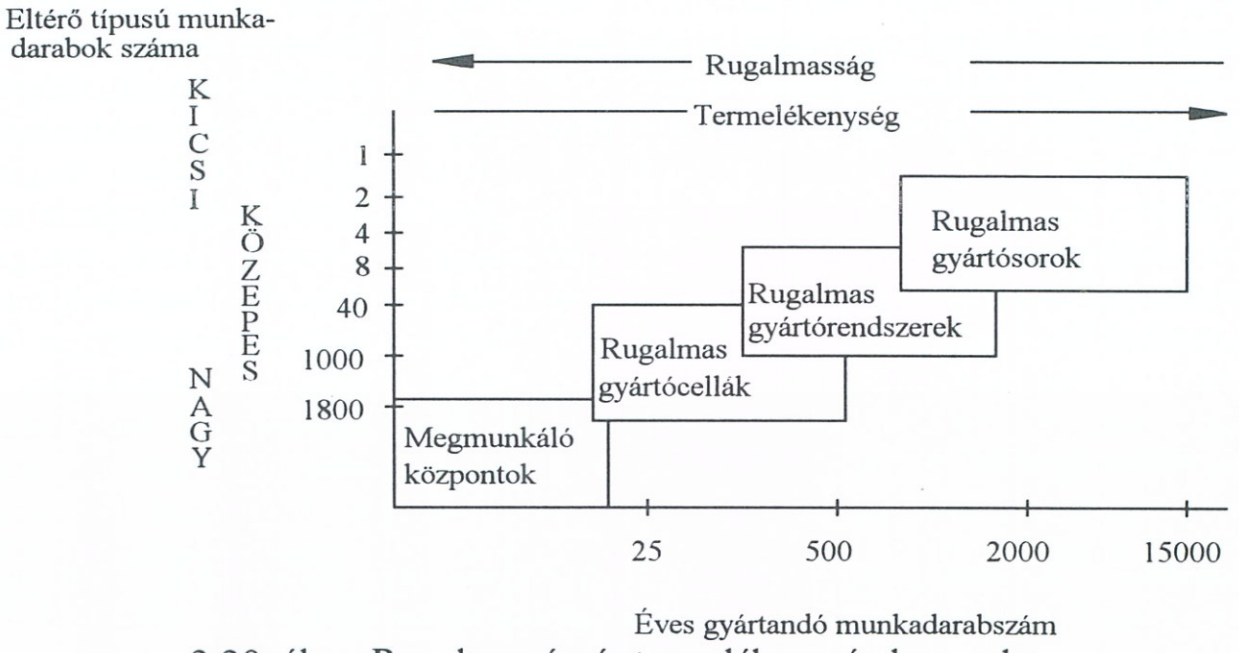
A **rugalmas gyártócella** egy szervezési egység, mely állhat egy-vagy több forgácsoló szerszámgépegységből, mely előnyösen un. munkadarabcsaládok elemeit munkálja meg.

Ezen felül olyan kiegészítő funkciók, mint a munkadarab és a szerszámellátás, mérési és folyamat felügyeleti feladatok is automatizáltak. A rugalmas gyártócella (Flexible Manufacturing Cell, FMC) a rugalmas gyártórendszer (Flexible Manufacturing System, FMS) építőeleme, és ez utóbbi lépésről-lépésre történő kiépítését is lehetővé teszi.

Az FMC, FMS kis sorozatú gyártást tesz lehetővé alacsony kezelői személyzetszám mellett. Az automatikus munkadarab és szerszámellátás, raktározás, az automatizált mérési, folyamatfelügyeleti funkciók lehetővé teszik az FMC, FMS felügyelet (kezelő személyzet) nélküli, vagy csökkentett létszámmal történő üzemeltetését a második és harmadik műszakban, sőt munkaszüneti napokon is. A gyártási feladat változtatása nem mindig igényel felszerszámozást, gépelőkészítést. Sokszor a megmunkálási program megváltozása elegendő.

A 3.31. ábra egy esztergáló és egy fúró-maró cella erősen leegyszerűsített vázlatát mutatja.

Az esztergáló cella (az ábra felső fele) egygépes rendszer, a fúró-maró cella két



3.30. ábra. Rugalmasság és termelékenység kapcsolata

megmunkáló központból áll (az ábra alsó fele). A munkadarab jellege jelentős befolyással van a cella felépítésére: a forgástest alakú alkatrészek mozgatása eltér a szekrényes alkatrészekétől.

A szekrényes alkatrészeket legtöbbször speciális készülékeken, palettákon mozgatják. Azt a paletta típust, mely a szerszámgépre szabványos csatlakozó felülettel rögzíthető - és így a munkadarab felfogását megoldja technológiai palettának nevezzük. Ennek mérete fontos gépjellemző.

A forgástest típusú alkatrészek automatikus mozgatására leggyakrabban ipari robotokat, ezek közül is legtöbbször un. síkportál vagy térportál robotokat használnak.

A portál robot szinte teljesen kiszorította a gép mellett álló (és így esetleg több gépet is kiszolgáló) vagy a gép oldalára szerelt (egyszerű kinematikájú) robotokat.

A munkadarab mozgatásain túl, a külső szerszámtárból történő szerszemcserét, esetleg a munkadarabbefogó készülék (vagy készülékelem) cserét is végezhető ugyanaz a robot. Ebben az esetben többféle, automatikusan cserélhető megfogószerkezetre van szükség.

A fúró-maró cellák gyakran közbülső palettatárolóval és nagykapacitású külső szerszámtárolóval is rendelkeznek. Ezek a hosszú, folyamatos üzemeltetését biztosítják.

A **rugalmas gyártó sort** (Flexible Transfer Line, FTL) az különbözteti meg a **rugalmas gyártórendszertől,** hogy csak egymáshoz nagyon hasonló munkadarabok kötött ütemű gyártására alkalmas. (A teljesen merev automatizálást jelentő gépsorokat váltotta fel. Elsősorban a gépkocsiiparban terjedt el). A megmunkáló egységek egy sorban helyezkednek el és a munkadarabok haladási útvonala az egyes megmunkáló egységek munkaterein át is vezethet (in line típus). Ha a munkadarab áramlás fő útvonala a gépeken kívül halad (offline típus) az egyes gépekhez jobb a hozzáférés.

A **rugalmas gyártórendszer** több, egymással összekapcsolt gépből áll, melyek különféle munkadarabokat párhuzamosan munkálnak meg. A gyártást egy-egy egység átállítása nem zavarja.

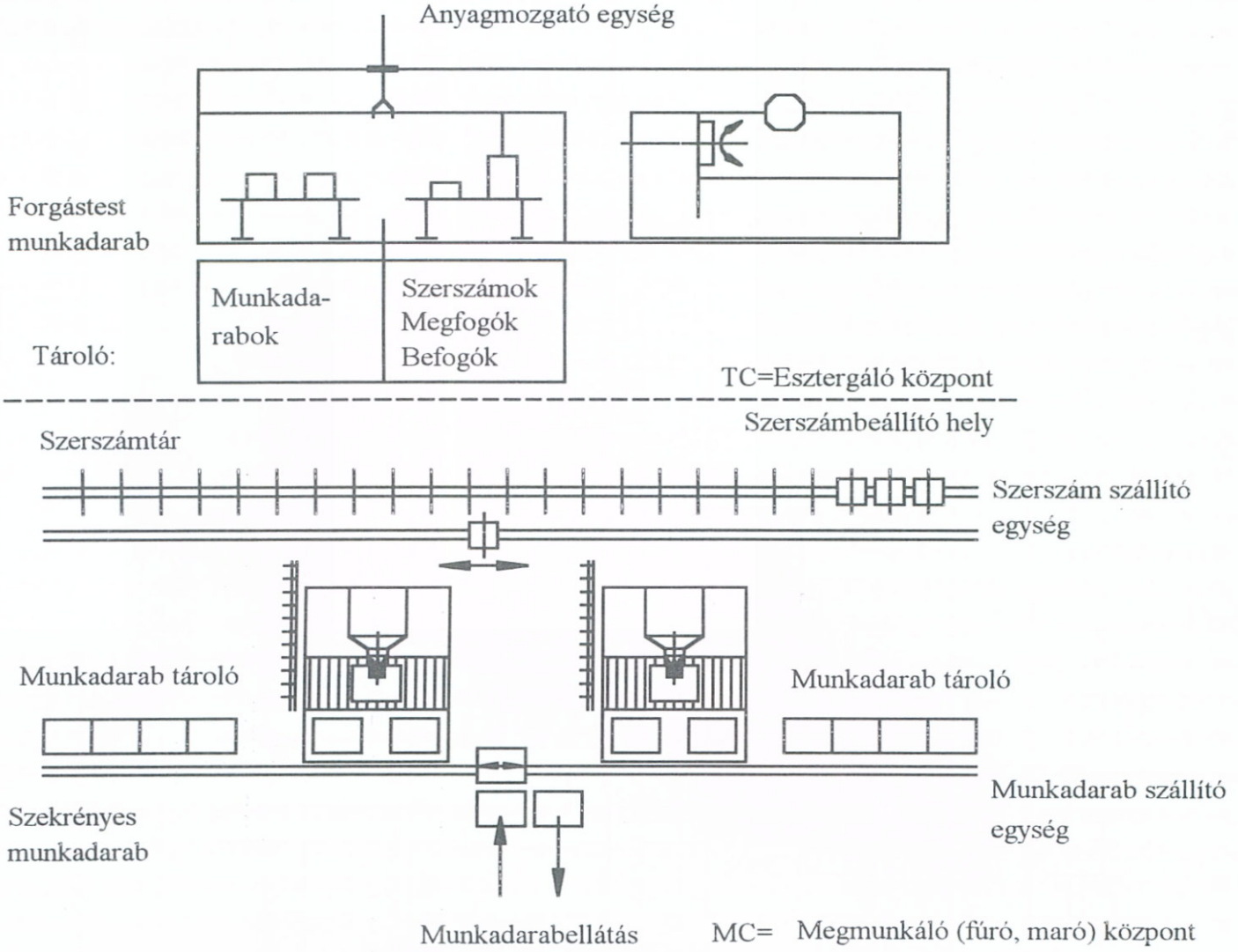
A gyártó egységeket (esetleg gyártó cellákat) közös irányítóegység és munkadarab, esetleg szerszámellátó egység köti össze. A munkadarab továbbítás nem kötött ütemű, a gépek hozzáférése tetszőleges sorrendben is történhet.

Az FMS-ben a szállító-raktározó egység felépítését, típusát a gyártandó munkadarabok típusa (forgástest vagy szekrényes) jelentősen befolyásolja. A forgástest típusú munkadarabok mozgatását legtöbbször robotok, a szekrényes alkatrészekét általában palettás rendszerek végzik. (Egy palettán lehet egy, vagy több munkadarab is).

Különösen a több egységből álló FMS struktúrája, telepítési megoldása döntően befolyásolja a munkadarab és szerszámellátó rendszer megoldását.

Maga a szállítórendszer lehet pályához (sínhez) kötött, padlón mozgó, vagy függesztett, a munkadarabot közvetlenül, vagy palettán szállító.

A számítógép vezérlésű kocsik melyek általában a padlóba besüllyesztett elektromos kábel mágneses indukciós jeleit érzékelve "tájékozódnak" (Automatic Guided Vehicle, AGV) megbízható és elsősorban nagyméretű, hosszú megmunkálási idejű egységekből álló rendszerek kedvelt szállító egységei. Pályájuk - a lefektetett útvonalon belül - szabadon programozható.



3.31. ábra. Rugalmas gyártócellák vázlata.

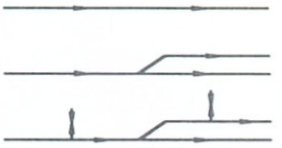
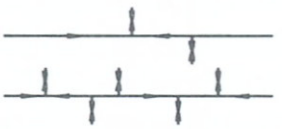
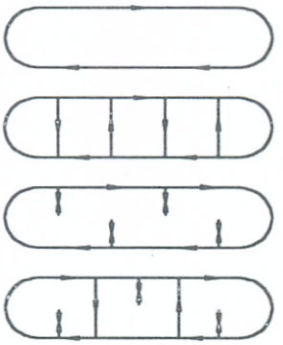
Hátrányuk, hogy a gépek között viszonylag széles útvonalat igényelnek és a közvetlen paletta/munkadarab cseréhez pozicionálási pontosságuk csak kiegészítő egységekkel lehet elegendő.

A 3.31. ábrán a leggyakoribb AGV útvonaltípusok láthatók.

A rugalmas gyártórendszerek **szerszámellátó rendszerei** legfontosabb feladata a szerszámcsere teljes vagy részlegesen automatikus megoldása, a gép/rendszer működésének zavarása nélkül.

Ez legkönnyebben akkor biztosítható, ha a rendszer egyes gépei megfelelő kapacitású (az adott gyártási feladathoz elegendő szerszámot hordozó) szerszámtárral és automatikus szerszámcserélővel rendelkeznek.

A gépen lévő tár szerszámkészletének automatikus cseréjére is van lehetőség.(Bizonyos esetekben az egész szerszámtár is cserélhető így).

Pályaminta	Típus	Pálya alaprajz
Nyitott egyenes	Egyes Többszörös elágazásos Leágazásos	
Nyitott elágazásos	Egyszerű Összetett	
Zárt	Folytonos Összekötött folytonos Leágazásos folytonos Összekötött folytonos	
Összefonódó	Tetszőleges	

3.31. ábra. A leggyakoribb AGV útvonal típusok

A rugalmas automatizálás nagyon költséges beruházást igényel. Ennek és az egységes cellákba integrálható funkciók számának növekedésének, vagyis a szerszámgépépítés fejlődésének tudható be, hogy a rugalmas gyártórendszerek helyett egyre gyakrabban rugalmas gyártócellával is gazdaságosan megoldható egy adott gyártási feladat.

Felhasznált irodalom:

[1] E.Saljé et al.: Systematik für Relativbewegungen bei spanender Bearbeitung... ZwF 68 (1973) Hyt 8 pp.404-408.

[2] K.Iwata, F.Oba, N.Sugimura: Analysis of Shape generation... Manufacturing Systems Vol.12 No. 2 pp.137-148.

[3] M.E.Rosheim: Robot wrist actuators. John Whiley and Sons Publ. 1989. ISBN 0-903608-62-6

[4] W.W.Luggen: Flexible Manufacturing Cells and Systems. Pentice-Hall International Editions 1991 ISBN 0-13-321977-1

[5] S.Wirth: Flexible Fertigungssysteme,
VEB Verlag Technik, 1989. ISBN 3-341-00654-0
[6] V.Rembold; B.O.Nanji; A.Storr: Computer Integrated Manufacturing and Engineering, Addison-Wesley Publ.Lo.1993. ISBN 0-201-56541-2
[7] W.Düniss; M.Heumann; H.Schwartz: Trennen,
VEB Verlag Technik, 1969. DK 621.91.07.ES 10 G 3
[8] M.Weck: Wekzeugmaschinen-Fertigungssysteme Band 1.
VDI Verlag, 1991. ISBN 3-18-401095-3
[9] W.Beitz; K.H.Küttner: Taschenbuch für den Maschinenbau (Dubbel)
Springer Verlag Technik ISBN 3-540-12418-7
[10] Autorenteam; Schriftenreihe des WIFI
Nr,222, Industrieroboter WIFI 1992
[11] Arz,G., Lipóth,A.,Merksz,I.: Robotmanipulátorok
LSI Kiadó 1988. ISBN 963 592 527 1
[12] Robots for manufacturing enviroment - Performence criteria and related testing methods, ISO 9283.
[13] Lipóth,A.: Megmunkáló központ konstrukciós változatok módszeres előállítása és értékelése. Kandidátusi értekezés 1993.
[14] R.Aronson: Machine Tool 101.
Manufacturing Engineering, January-June 1994.

4. GYÁRTÓESZKÖZÖK

Az MKGSI rendszer kapcsolatainak megvalósítására szolgáló készülékeket és az anyagleválasztást, anyagalakítást végző szerszámokat gyártóeszközöknek nevezzük. A szerszámgépet kiegészítő olyan egyetemes vagy céleszköz tehát, amely lehetővé teszi az energia átvitelét a megmunkálandó anyagra, elősegíti az alak és helyzetváltoztatásokat, csökkenti az emberi erőkifejtést. A szerszámgép és a gyártóeszköz közötti egyik alapvető különbség az, hogy míg az előző beszerzése beruházási folyamat, addig a gyártóeszközök költségei gyártási költségként jelennek meg, még akkor is ha egy szerszámgép élettartama alatt a gép értékének két háromszorosát kitevő szerszámérték is elhasználódik.

A gyártóeszközök tehát a

- anyageltávolító,
- anyagalakító, formázó,
- anyagkezelő

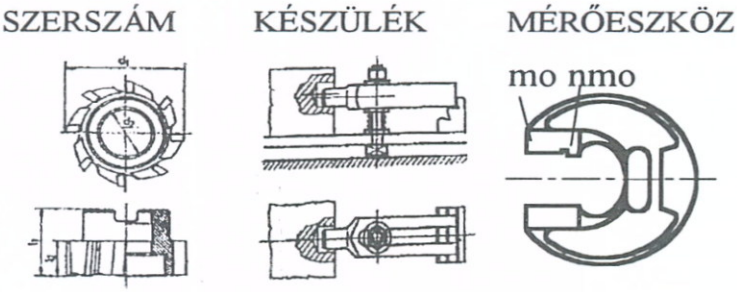
szerszámok, valamint a

- munkadarab befogó,
- szerszám befogó,
- szerszám vezető

készülékek és a

- mérő, ellenörző

eszközök.



4.1. ábra Gyártóeszközök

Egy másik osztályozási szempont a rendeltetés. A megmunkálási eljárás szerint megkülönböztetünk

- esztergáló,
- fúró,
- maró,

stb. szerszámokat vagy készülékeket.

Funkcionális felépítésük, konstrukciós kivitelük szerint a gyártóeszközök lehetnek:

- egycélú egyszer használható,
- moduláris elemekből épített átszerelhető,
- univerzálisan használható

eszközök.

Szerszám- vagy készülékrendszeren a szerszámél és szerszámhordozó vagy a munkadarab és a szerszámgép közötti kapcsolat megvalósítására alkalmas egységes elvek szerint összeépíthető szerszám vagy készülékelemeket értjük. A rendszerelemek elsődleges feladata a kapcsolódó elemek helyzetének szükséges szintű meghatározása. Legtöbb esetben azt is biztosítani kell, hogy az összekapcsolt elemek megőrizzék ezt a meghatározott helyzetet, tehát rögzíteni is kell a kapcsolatot.

4.1. A helyzetmeghatározás, bázisok

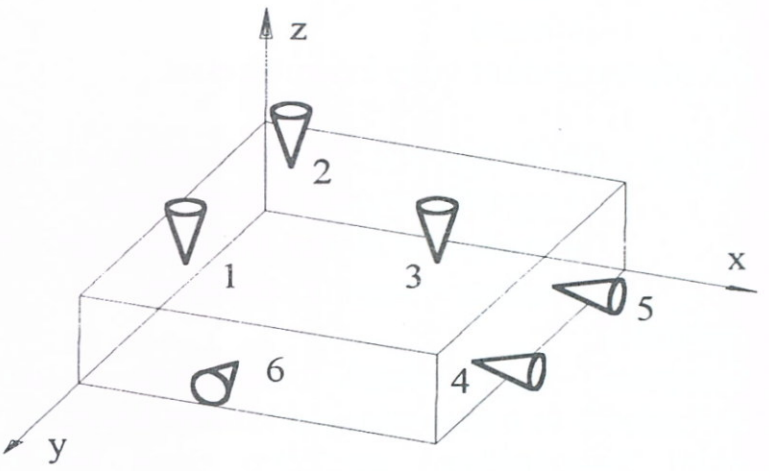
Helyzetmeghatározás során az alkatrészt meg kell fosztani elmozdulási lehetőségeitől. Egy tárgynak (merev testnek) a térben hat mozgási lehetősége, azaz hat szabadságfoka van. Ha a tárgyat egy térbeli derékszögű koordinátarendszerbe helyezzük, akkor a hat elmozdulási lehetőség: a három koordinátatengely menti lineáris elmozdulás és a három tengely körüli elfordulás.

Egy tárgy helyzetének egyértelmű meghatározásához valamennyi elmozdulási lehetőségét meg kell kötni, a testet meg kell fosztani mind a hat szabadságfokától. Az egyértemű helyzetmeghatározáshoz a tárgyat az 4.2. ábrán látható módon 6 ponton kell ütköztetnünk. Az 1. ponttal a z tengely irányú elmozdulást kötöttük meg, a 2. pont gátolja az x tengely körüli elfordulást, míg a 3. pont már az y tengely körüli elfordulást akadályozza. Ez a három pont egy síkon helyezkedik el. Ilyen esetben fő helyzetmeghatározó (felfekvési) felületről beszélünk. A 4. ülék az x irányú elmozdulást, az 5. a z tengely körüli elfordulást zárja ki egy másik síkban ütköztetve. Végül az előző két síkra merőleges harmadik síkban levő 6. pont az y irányú mozgást megkötve a maradék szabadságfoktól is megfosztja a tárgyat. Az utóbbi két síkot, amelyeken csak kettő vagy egy helyzetmeghatározó pont található, tájolási és ütköztetési felületeknek nevezzük.

Egy test helyzetének olyan meghatározását, amellyel valamennyi szabadságfokától megfosztjuk, teljes helyzetmeghatározásnak nevezzük. Látható volt, hogy a teljes helyzetmeghatározáshoz hat kötöttség, azaz hat ütköztetési pont szükséges, ezért a teljes helyzetmeghatározás feltételét **hatpont-szabály**nak nevezzük.

A helyes helyzetmeghatározáskor csak a szükséges mennyiségű kötöttségi pontot alkalmazzuk. Ennél kevesebb vagy több kötöttség hibás helyzetmeghatározást eredményez. Bizonyos esetekben megengedhető a több kötöttség, a túlhatározottság. Akkor szokás túlhatározott helyzetmeghatározást alkalmazni, ha ezzel az ellenőrzés lehetőségét kívánjuk megteremteni, vagy ha a befogás merevségének növelése szükséges a deformációból adódó pontatlanságok elkerülése érdekében.

A tárgy azon geometriai objektumait, amelyekhez viszonyítva a helyzetmeghatározás közvetlenül elvégezhető, **bázisok**nak nevezzük. Bázis lehet a tárgy egyik felülete, éle



4.2. ábra. A tárgy 6 szabadságfokának megkötése

vagy ezeken levő pont. Az ilyen bázisokat valóságos bázisnak hívjuk. Lehet ugyanakkor úgynevezett virtuális bázis, amikor egy elképzelt, elméleti alakzatot használunk fel a helyzetmeghatározásra. Erre példa egy szimmetria tengely vagy egy középpont. Amíg egy téglatest esetén a határoló síkok közül érdemes bázist választani (valóságos bázist), egy hengeres test viszonyítási bázisának inkább a középvonalát, tehát egy képzeletbeli objektumot szokás választani.
A bázisok szerepe szerint megkülönböztetünk:

a, szerkesztési bázisokat, amelyeket a termék tervezésekor veszünk fel,
b, gyártási bázisokat, amelyeket gyártáskor alkalmazunk,
c, mérési bázisokat, amelyekhez viszonyítva az ellenőrzés vagy a mérés történik.

Előnyös ha a szerkesztési és a gyártási bázis megegyezik, mely esetben főbázisról beszélünk.

A bázisok megválasztásának legfontosabb alapelvei a következők:

a, Olyan bázist kell választani, amely egyértelmű helyzetmeghatározást tesz lehetővé. (A lehető legnagyobb kiterjedésű felületet, vagy egymástól minél távolabbi felületeket célszerű választani.)
b, Biztosítani kell a maximális merevséget a megtámasztással.
c, Minél több méret megadásának kezdőpontja legyen, (tehát szerkesztési bázis).
d, Gyártás során minél kevesebb bázisváltást alkalmazzunk.
e, Nyers (megmunkálatlan) felületet csak egyszer válasszunk bázisnak, lehetőleg az első művelethez,
f, megmunkált bázisokat védeni kell a sérülésektől.

4.2. Készülékek

4.2.1. A munkadarab-befogó készülékek

A készülékek elemeit feladataik, valamint a szerkezetben elfoglalt helyük szerint elemcsoportokra oszthatjuk. A befogókészülékek esetén a következő készülékelem csoportokat különböztetjük meg:

a, Ülékek, támaszok - feladatuk a munkadarab helyzetének meghatározása,
b, Szorító, rögzítő elemek - ezek tartják meg a munkadarab helyzetét a a külső-belső erők ellenében,
c, Készüléktájoló elemek - a készülék helyzetét szabják meg a szerszámgépen,

d, Készüléktest - a készülék felépítményét, az ülékek stb. elhelyezését szolgáló elemek csoportja, amelynek szerepe van a készülék merevségének kialakításában is,

e, Alaplap - ezen épül fel a teljes készülék, a készüléktájoló elemekkel és a rögzítéssel; ez kerül kapcsolatba a szerszámgéppel,

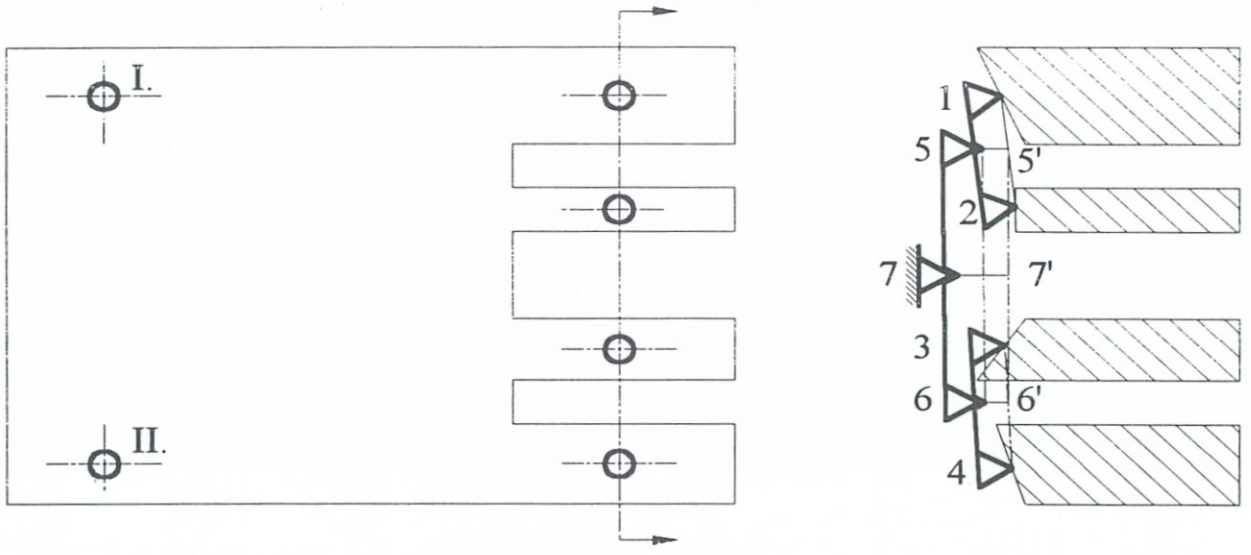
f, Szerszámbeállító elemek - a szerszám megmunkálás közbeni helyzetének beállítását segítik.

4.2.1.1. Ülékek, támaszok

Az ülékek olyan elemek, amelyek csúcsa elméletileg geometriai pont,(helyzetmeghatározási pontok) funkcionális szempontból a készülék legfontosabb elemei. Az ülékek feladata a munkadarab helyzetmeghatározása, míg a támaszok a munkadarab felületén fölfekve egyszerű megtámasztásra szolgálnak.

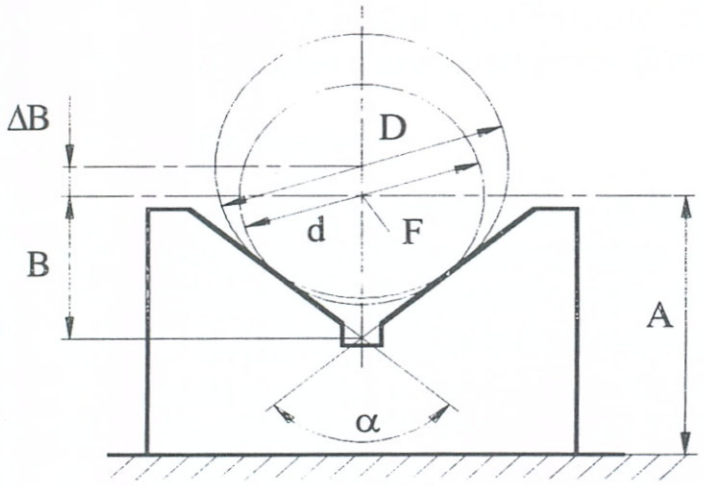
Az **egyszerű ülék** a munkadarabnak mindig azonos, előre meghatározott pontjával érintkezik, annak helyzetét határozza meg. Készülhet merev, állítható és mozgó vagy beálló változatban, az utóbbiak a felhasználás rugalmasságát növelik. Alakhű alapfelületek helyzetmeghatározására megengedhető egy nagy pontossággal legyártott, kiváló felületi minőségű sík felület is, amelyet a keszüléktesten alakítanak ki, vagy arra szerelnek.

A **mozgó vagy beálló ülék** a munkadarab rögzítése előtt vezérelt elmozdulást végez. Olyan esetben alkalmazzák, amikor a munkadarab helyzetmeghatározására a szabályok által előírtnál több pontot célszerű használni. A 4.3. ábra egy ilyen megvalósítást mutat.

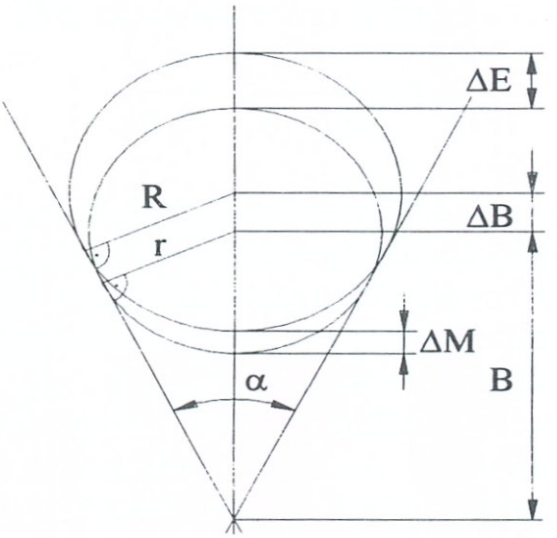


4.3. ábra. Öntött munkadarab helyzetmeghatározása mozgó (beálló) ülék segítségével

A munkadarabon kialakított villaszerű rész öntési hibái miatt a másik oldalán levő felület párhuzamos kialakításához (megmunkálásához) szükséges a mozgó ülékes megtámasztás.



4.4. ábra. Rövid prizmás helyzetmeghatározás hibája

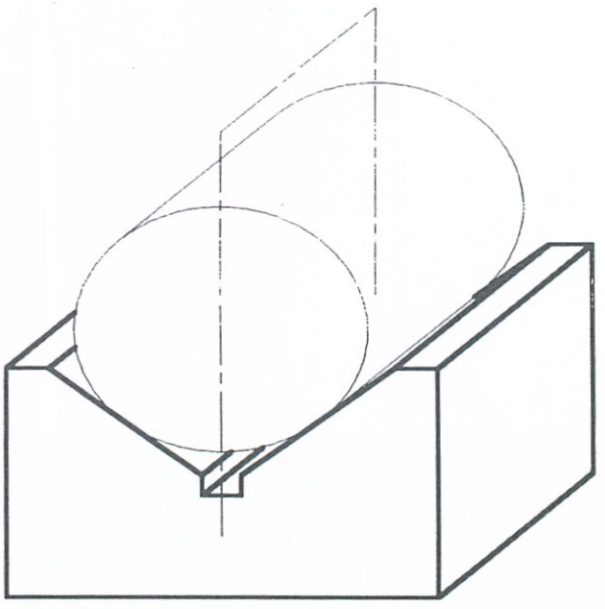


4.5. ábra. Központosítás hibája

A **központosító ülékek** a munkadarab egy középvonalának, középsíkjának, vagy középpontjának - tehát nem egy tényleges, hanem egy képzeletbeli objektumának - helyzetét határozza meg. Attól függően, hogy középsíkot, tengelyt, vagy középpontot határoz meg, egy-, két- és háromirányú központosításról beszélünk. A központosítás problémája leggyakrabban forgásfelületek megmunkálásakor jelentkezik, ezért a jobb szemléltetés érdekében ilyen példákat mutatunk be. A központosító ülékek is lehetnek álló és mozgó kivitelűek.

Az álló központosító ülékek legegyszerűbb változata a **keskeny prizma**: két, egymáshoz szög alatt hajló, elvileg nulla vastagságú él (4.4. ábra). A keskeny prizma a ráhelyezett kör keresztmetszetű munkadarab középvonalát határozza meg. A 4.5. ábrán látható példa szerint a munkadarab átmérő hibája a középpont eltérését eredményezi, így középpont meghatározására nem alkalmas.

Tengelyszerű munkadarabok megtámasztásához két keskeny prizmát használhatunk, ami a test két keresztmetszetének középvonalát jelöli ki. A gyakorlatban az ilyen problémák megoldására úgynevezett **hosszú prizmát** ajánlunk. Míg a keskeny prizma kettő, a hosszú prizma négy szabadságfok megkötését eredményezi, csak a



4.6. ábra. Középsík meghatározása hosszú prizmával

tengelyirányú és a tengely körüli elmozdulásokat engedi meg (4.6. ábra).

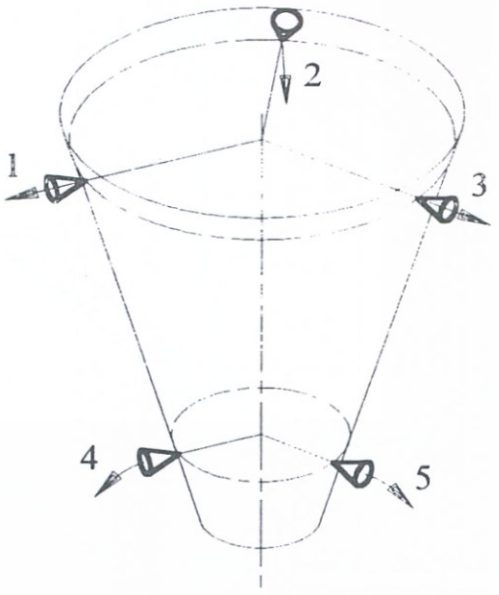
A munkadarab átmérőjének hibája ebben az esetben is középpont eltérést okoz. A ΔB középpont eltérést a 4.5. ábra segítségével egyszerű trigonometrikus összefüggés adja:

$$\Delta B = \frac{R}{\sin a/2} - \frac{r}{\sin a/2}$$

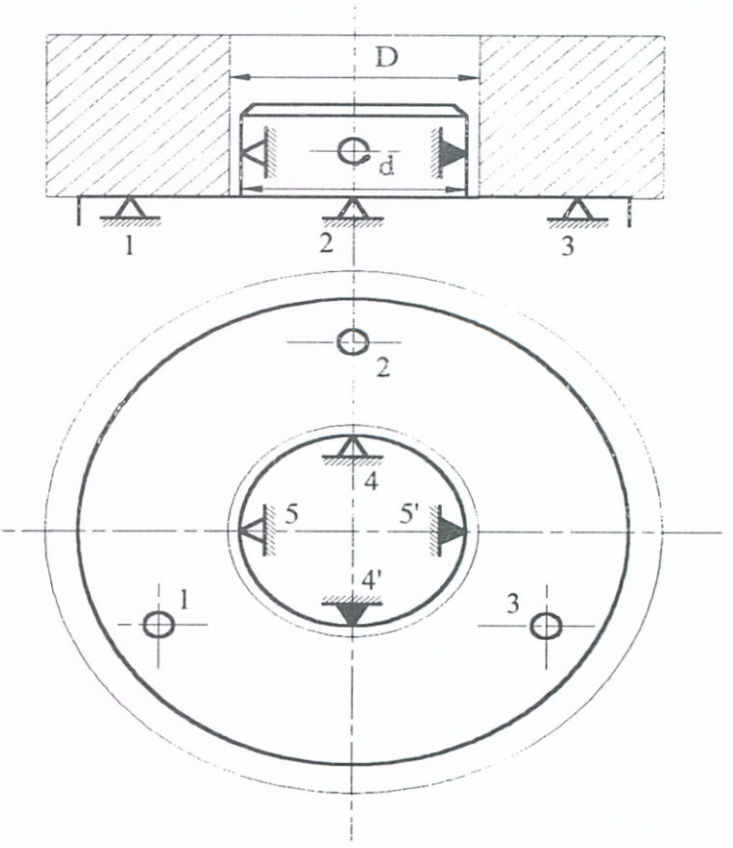
Amíg a hosszú prizma segítségével középsíkot határozhatunk meg, a **központosító kúpok** középtengelyt jelölnek ki. A 4.7. elvi vázlat szerint az öt elméleti ülékpont közül az 1,2,3 megfosztja a munkadarabot három lineáris elmozdulás szabadságától. A 4 és 5 pedig két elfordulástól. A darabnak tehát egyetlen szabadságfoka marad, a kúp tengelye körüli elfordulás.

A **határoló központosító ülékek** feladata egy tengely helyzetének és irányának meghatározása. A határoló ülékek elvéből következik, hogy ezt csak bizonyos előre számítható hibával képes biztosítani. Példaként szerepeljen itt a rövid csapos központosítás.

A 4.8. ábrán látható egy **rövid központosító csap**. Ezt a fajta központosítást olyan esetekben használjuk, amikor a munkadarab a központosítandó furatra merőleges, nagy kiterjedésű sík felülettel rendelkezik. Ilyenkor a sík felületen történő 1,2,3 helyzetmeghatározás egy lineáris elmozdulást és két elfordulást köt meg, így egyértelműen meghatározza a munkadarab felfekvő felületére merőleges tengely irányát. A tengely helyzetét az ülék csapja szabja meg. A furat és a csap között azonban a



4.7. ábra. Tengely helyzetmeghatározása központosító kúppal



4.8. ábra. Határoló központosítás rövid csappal

gyakorlatban játék van. A csapon játékkal illeszkedő munkadaraboknál a furat és a csap tengelyének az eltérését a csap határoló ülékként szabályozza a 4-4' és az 5-5' ülékpárokkal. A tengely helyzetének pontossága az ülékpárok távolsága és a furat átmérője közötti eltérés függvénye. A hiba (külpontosság) nagysága a csap és a furat közötti játék fele. A rövid központosító csap alkalmazására példa a marószerszámok rövid csapos felfogása a szerszámgépek főorsójára.

4.2.1.2. Szorító elemek

A tárgy készülékben való rögzítését az úgynevezett szorítóelemek segítségével valósíthatjuk meg. A szorító elemek feladata a tárgynak az ülékek által meghatározott helyzetben tartása a megmunkáláskor rá ható erők ellenében. A szorítás megtervezésekor a várható legnagyobb erőre kell a készüléket méretezni. Figyelembe kell venni az erők támadáspontját, irányát, valamint változását (dinamikus hatások). Ugyanakkor a szorítás megtervezésekor azt is célszerű szem előtt tartani, hogy a szorítóerők hatására a munkadarab vagy a szerszám, illetve a készüléktest ne deformálódjon.

A forgácsolási erőnek a készülékelemekhez viszonyított helyzetével kapcsolatban három elvet kell rögzíteni.

a, az ülékre szorítás elve, (a fellépő forgácsolási erő lehetőleg az ülékre szorítsa a munkadarabot.)

b, kis hajlító karok elve, (a forgácsolási erőből a munkadarabra illetve a készülékre adódó hajlítóerő karja minél kisebb legyen.)

c, kitérő torzulás elve, (a deformációból adódó alakváltozás ne növelje a forgácskeresztmetszetet.)

A szorító elemek működtetés szempontjából lehetnek kézi és gépi szorítások. A kézi szorítás működtető elemei az alábbi fő csoportokba oszthatók:

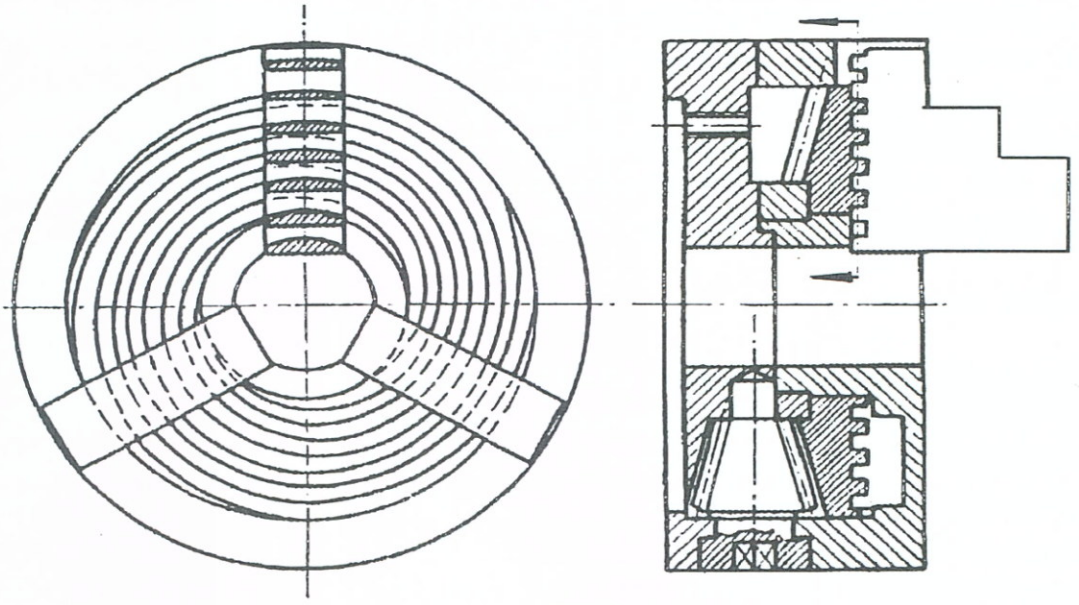
1. csavarok,
2. körhagyók,
3. ékek,
4. csuklós szerkezetek,
5. rugók,
6. hidraulikus szerkezetek.

A gépi szorítás működtető elemei a következők:

1. pneumatikus szerkezetek,
2. hidraulikus szerkezetek,
3. mágneses szerkezetek,
4. vacuumos szerkezetek.

4.2.1.3. Szabványos befogó készülékek, szerszámgép tartozékok

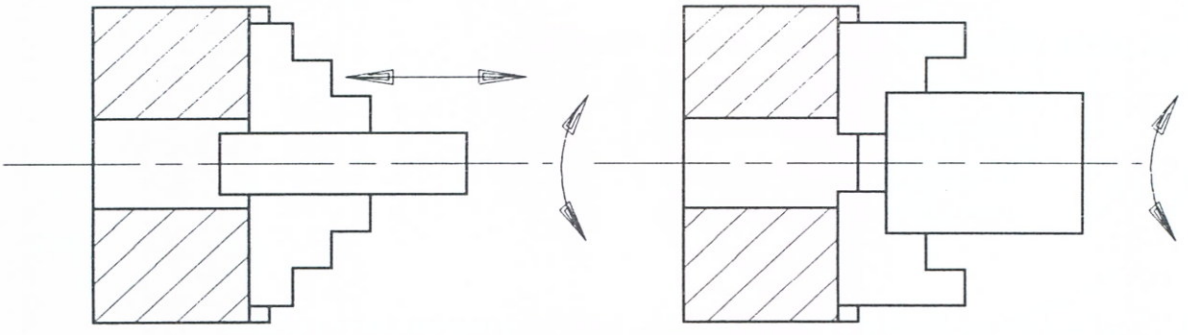
Ebben a fejezetben az előzőekben leírt készülék funkciók gyakorlati megvalósítását mutatjuk be néhány általánosan alkalmazott, a hagyományos szerszámgépeken



4.9.ábra. Hárompofás, spirálmenetes esztergatokmány

tartozékként megtalálható készülék segítségével. Egyszerű beállítások felvillantásával megpróbálunk arról is képet adni, hogy a valóságban az ismertetett helyzetmeghatározási módszerek milyen problémákat vetnek föl.

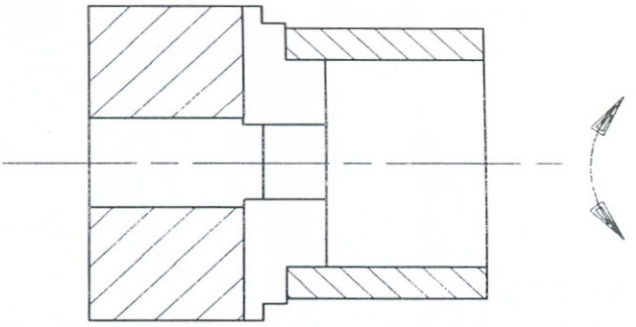
Induló példánk a már említett két-, három- és négypofás esztergatokmány. Ez a készülék forgásszimmetrikus (hengeres) munkadarabok központosítására szolgál, mozgó ülékes központosító készülék. A pontos központosítás érdekében szükséges megvalósítani, hogy az ülékek mozgatása összehangolt legyen. A 4.9. ábrán ennek megvalósítása egy hárompofás tokmány esetén a homloklapon elhelyezett spirálmenetes tárcsával történik, amelynek menetei a rájuk illeszkedő pofákat egyszerre, azonos mértékben mozdítják el (archimédeszi spirál). A spirálmenetes tárcsa meghajtására kúpkereket használnak, amelynek forgatása kézi erővel, a tokmánykulcs segítségével történik. A menet spirális elhelyezkedése miatt a pofák egymással nem cserészabatosak, szét- illetve összeszereléskor a pofákon és a vezetőhornyokon levő számozás figyelembevételével lehet a megfelelő összerendelést megvalósítani.



a, b,

4.10.ábra. Négy és öt szabadságfok megkötése esztergatokmánnyal

Az esztergatokmány nem végez teljes helyzetmeghatározást, mindössze 4 szabadságfokot köt meg. A 4.10/a ábra nyilai a fennmaradó szabadságfokokat mutatják.

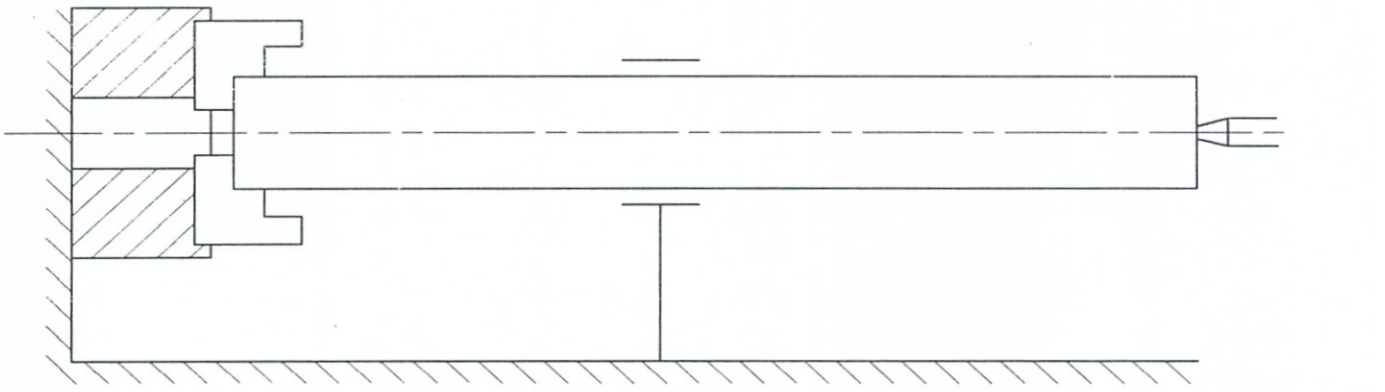


4.11. ábra. Belső hengeres felület központosítása esztergatokmánnyal

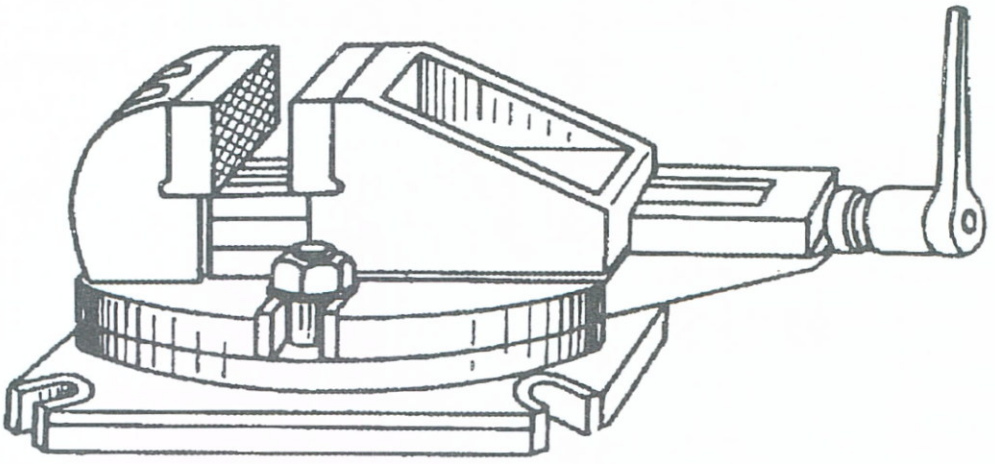
Más alakú pofák használatával még egy, a forgástengely irányú lineáris elmozdulás is megköthető, ahogyan a 4.10/b ábra szemlélteti. Mivel a pofák a forgástengely felé és attól távolodva egyaránt összehangoltan mozognak, alkalmas pofa választásával belső hengeres felület központosítására is használható az esztergatokmány (4.11. ábra).

Olyan munkadarabok esetén (például karcsú, hosszú tengelyek), amelyeknél a forgácsolási erőből adódó deformáció jelentősen módosíthatja a tengely egyes pontjainak helyzetét, további rögzítési pontokat kell alkalmazni. Ezek nem kötnek meg új szabadságfokot, a helyzetmeghatározást túl-határozottá teszik, mégis szükséges az alkalmazásuk a merevség növelése, a túl nagy deformációk elkerülése érdekében. Erre a feladatra szolgáló szabványos készülékek a szegnyereg és az álló vagy mozgó bábok, amiket esztergán használnak. A 4.12. ábrán egy nagyon hosszú, karcsú tengely befogásakor alkalmazott megtámasztást mutatunk be. Bár ilyenkor a helyzetmeghatározáshoz elkerülhetetlen a túlhatározottság, hiszen a deformáció megváltoztatná a kijelölt helyzetet, a túlhatározottság mindig hibaforrás is lehet. Biztosítani kell ugyanis a tokmány által kijelölt középvonal és a szegnyereg valamint a bábok egytengelyűségét. Ez meghatározott tűrésen belül, de mindig hibával lehetséges csak, így a túlhatározott helyzet egyben mindig hibaforrás, rontja a pontosságot.

A 4.13. ábrán látható gépsatu a marógépek elterjedt munkadarab-befogó készüléke. Általában merőleges illetve párhuzamos síkfelületeket tartalmazó alkatrészek megfogására, helyzetmeghatározására használják, készülhet egy álló- és egy mozgópofás

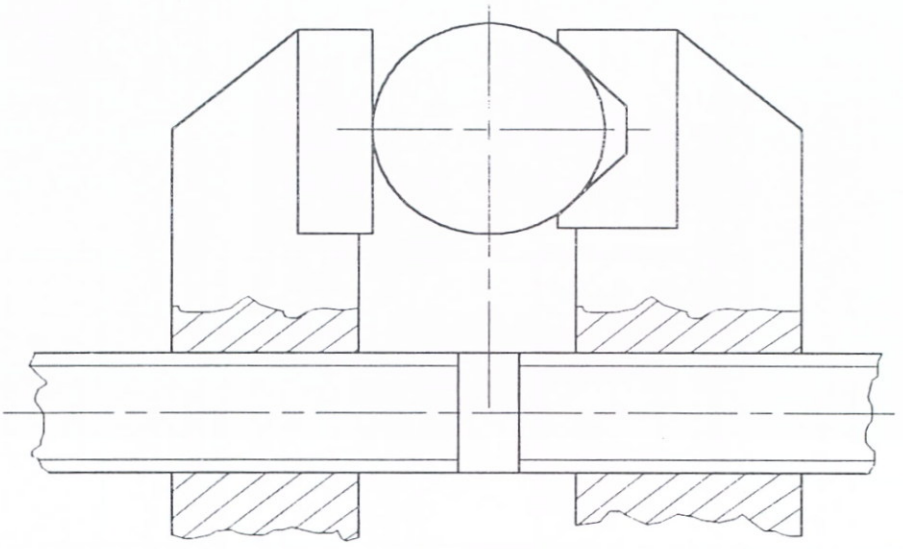


4.12. ábra. Szegnyereg és báb alkalmazása karcsú tengelyszerű alkatrész befogásához



4.13. ábra. Gépsatu

kivitelben, amikor az állópofa a fő helyzetmeghatározó felület, és az alapfelület egy segéd helyzetmeghatározó felület. Összesen öt szabadságfokot köt meg. Az állópofával és az alaplappal egyaránt párhuzamos lineáris elmozdulás nincs megkötve. Más megvalósítás esetén mindkét pofa mozgó, ezzel bizonyos központosítási feladatok láthatók el (középsík meghatározás). Az általában edzett satupofák tetszőleges alakúra cserélhetők. Ha a két mozgó pofa egyikét egy hosszú prizma kialakítású pofára cse-réljük, akkor az előző függőleges középsík és a prizma által meghatározott vízszintes középsík egy hengeres alkatrész középvonalának meghatározását teszi lehetővé (4.14. ábra). A helyzetmeghatározás ebben az esetben sem teljes, a középvonal menti elmozdulás és az a körüli elfordulás nincs megkötve. A szórítás a külső és belső erők ellenében biztosítja a munkadarab helyzetben tartását.



4.14. ábra. Két mozgó pofás prizmás gépsatu, a két pofát egyik oldalon jobbos, a másikon balos menetes orsó mozgatja

A példákban említett kézi szorítású készülékek megfelelője létezik automatikus működtetéssel is, természetesen ezek szorítási, működtetési megoldása legtöbbször eltér a kézi kezelésű készülékekétől.

4.2.2. Szerszámbefogó készülékek

A szerszám és a megmunkáló gép közötti kapcsolat megteremtésére, vagyis a szerszám befogására szolgáló készülékek csoportja. A feladata sok rokonságot mutat a munkadarab-befogó készülékekével, így alkotó-elemei is hasonlóak. A szerszámbefogó készülékek funkciói:

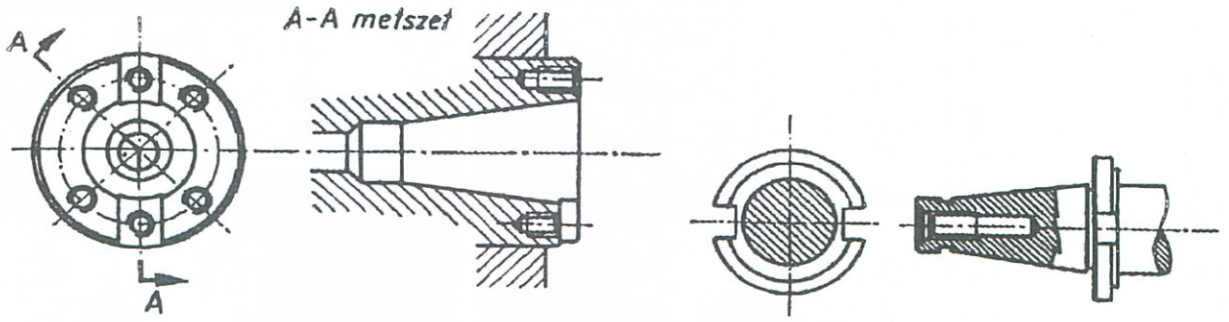
- a szerszám tájolása, helyzetmeghatározása,
- a szerszám helyzetben tartása

Attól függően, hogy milyen megmunkálási módot végző szerszám befogása a feladata, megkülönböztetünk álló- és forgószerszámos eszközöket. Az állószerszámos szerszámbefogás rendszerint olyan szerszámok helyzetét határozza meg, ahol a csatlakozó (felfekvő) felületek síkok, így a feladat egyszerű ülékekre vagy síklapokra szorítás. A forgószerszámos megmunkálásoknál a helyzetmeghatározás szempontjából lényeges objektum a forgástengely, így ez egy központosítási problémát eredményez. Szokás kúpos, rövid csapos és rugalmas központosító elemes (patronos) megoldásokat alkalmazni.

Attól függően, hogy a készülék csak egyetlen, speciális szerszám befogására, vagy univerzálisan, a géphez felhasználható valamennyi szerszám befogására alkalmas, megkülönböztetünk különleges, illetve egyetemes befogó készülékeket. A szerszámok univerzális alkalmazhatósága, a szerszámgépek változatos felhasználhatósága érdekében a csatlakozó felületek nagyon jól szabványosítottak, az alkalmazási esetek túlnyomó többségében a szerszámbefogás problémáját nem szükséges különleges készülékkel megoldani, az egyetemes kapcsolatok pedig már a szerszámok és a megmunkáló gépek tartozékaival megoldottak.

Konkrét példaként a korszerű marógépeken elterjedt meredek kúpos főorsóvégződést, illetve marótüské csatlakozását mutatjuk be. A 4.15/a ábrán látható főorsóvégződéshez a "b" ábra szerszámvégződése illeszkedik. Ez a megoldás a 4.3. fejezetben leírt kúpos központosítás elvét alkalmazza. A forgatónyomaték átadására szolgáló menesztő körmök, illetve hornyok jelenléte miatt a forgástengely körüli elfordulás szabadságfoka is elvész. A rögzítést vagy csavarral, vagy valamilyen automatikus (pneumatikus) behúzással valósítják meg. Önzárás hiányában egyszerűen és gyorsan oldható és a forgószerszámos szerszámgépeken általánosan alkalmazott megoldás.

Fontos azonban megemlíteni, hogy bár a kúpos központosítás elméletileg meghatározza a forgástengely (szerszámgépeken a "z" tengely) helyzetét, ez a helyzet a gyártási, felfekvési pontatlanságok miatt elég nagy szórást mutat. Ez az oka, hogy ennél a helyzetmeghatározásnál csak a központosított tengelyt fogadhatjuk el meghatározottnak.



a, b,

4.15. ábra. Meredek kúpos (ISO) szerszámbefogás

4.2.3. Az építőszekrény elv alkalmazása a készülékezésben

Az eddigiekből is kitűnik, hogy bár a különleges készülékek konstrukciója nagyon sokféle lehet, a megvalósítandó feladatok rokonsága, és a megoldások általánosíthatósága, illetve hasonlósága lehetővé teszi a készülékelemek egyetemesebb felhasználhatóságát. Másrészt a készülékek igénybevétele, kopása sokkal hosszabb élettartamot tesz lehetővé, mint a kis sorozatban gyártandó alkatrész gyártási ideje. A legtöbb esetben kiváló anyagból, nagy pontossággal legyártott készülékek (készülék elemek) újrahasznosítása gazdasági érdek is. Az előbbieket figyelembevéve nyilvánvalóan adódik a lehetőség olyan készülékelem család létrehozása, amely minden tekintetben kielégíti a biztonságos és pontos gyártás követelményeit, belőle a keszülék gyorsan megépíthető és a munkadarabok legyártása után könnyen szétszerelhető, továbbá szétszedés után újra felhasználható más készülékek építéséhez. Az ilyen készülékelem rendszereket **elemekből összeállítható készülékeknek (EÖK)** nevezzük.

Az EÖK alkalmazása előnyös:

- egyedi és kissorozat gyártásban,
- prototípus gyártásnál,
- gyorsan változó típusok gyártásában,
- karbantartási munkáknál,
- szűk gyártási keresztmetszetek gyors megszüntetésében.

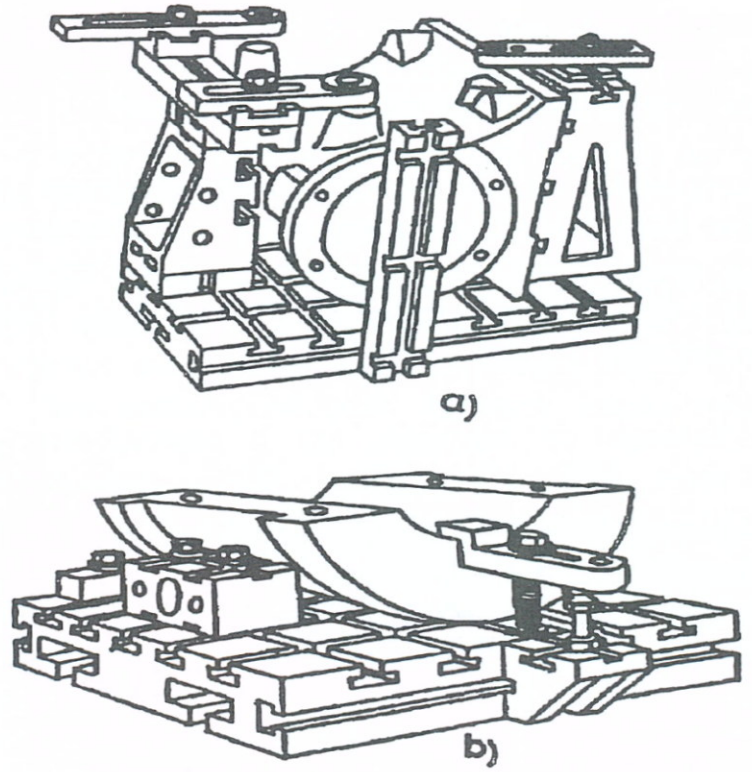
A gépiparban két fő kialakítása terjedt el:

T hornyos

Itt a hornyok rögzítésre is szolgálnak, helyzetük, irányuk a helyzetmeghatározásban is szerepet játszik. Két, többé-kevésbé jellemző T-hornyos EÖK alkalmazást mutat a 4.16.ábra (a és b).

Furatos

Ebben az esetben a készülékelemeken találhatók menetes és hengeres tájoló furatok, az utóbbiak a helyzetmeghatározásban, az előbbiek a rögzítésben játszanak szerepet.



4.16.ábra. Készülékezés EÖK rendszerrel

Az EÖK rendszerekben található főbb elemcsoportok a következők:

1. báziselemek (alaplapok, derékszögek)
2. készüléktest elemek
3. támasztó elemek
4. szorító elemek
5. tájoló elemek
6. szerszámvezető elemek
7. szerelt elemek
8. egyéb (retesz, csavar, szerszám).

4.3. Forgácsolószerszámok

A forgácsolószerszám a MKGSI rendszer azon eleme, amely a munkadarabra hatva, közvetlenül megvalósitja a forgácsolást és megváltoztatja a munkadarab alakját. Minden szerszám, típusától függetlenül, a következő főbb részekből áll: dolgozórész, ezen belül forgácsolórész, valamint kalibrálórész; tájoló- és befogórész, végül összekötőrész. A dolgozórészen belül kitüntetett szerepe van a forgácsolóéknek, amelynek hatóelemét a forgácsolóélt,- a homlok- és a hátfelület metszésvonala képezi.

4.3.1. Szerszámanyagok

Szerszámanyagokkal szemben támasztott követelmények

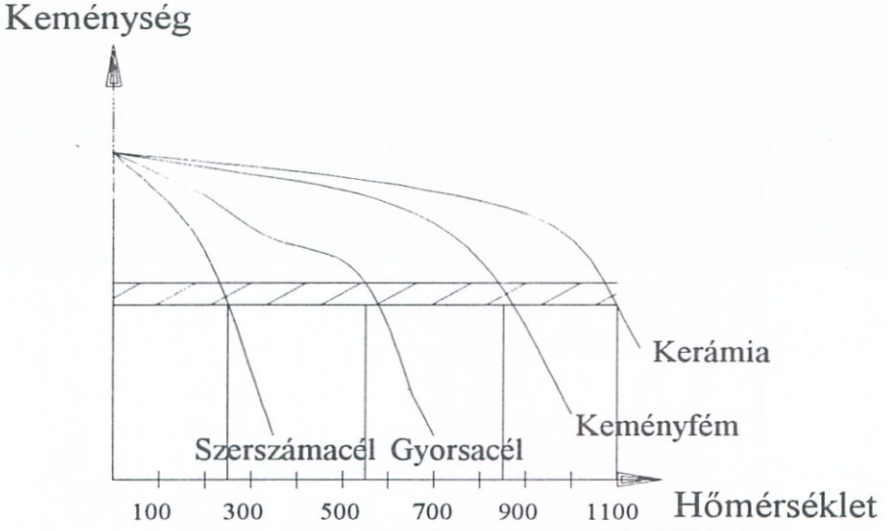
Ahhoz, hogy a szerszámél a forgácsolás hőmérsékletén ne deformálódjon a megengedettnél jobban, hogy ellenálljon a szerszám és munkadarab érintkező felületein fellépő fizikai, kémiai, mechanikai hatásoknak, hogy a különböző szerszámgeometriai elemek gazdaságosan előállíthatók legyenek, az alábbi tulajdonságok optimális összhangját kell megteremteni.

Melegkeménység. Általában az anyagok, így a szerszámanyagok keménységét is szobahőmérsékleten mért HB, HR_A, HR_C, HV_{30} egységekben adják meg. A $H_{szerszám}/H_{munkadarab} \geq 2 - 3$ kritérium azt az elvárást fejezi ki, hogy a szerszámél a forgácsolás hőmérsékletén legyen keményebb mint a megmunkált anyag keménysége. Kritikus hőmérsékletnek nevezzük azt a hőmérséklettartományt, amely felett az él keménysége rohamosan 45-50 HR_C (4000 HV_{30}) alá csökken.(4.17.ábra)

Szívósság. Szívós, képlékeny anyagok törését jelentős képlékeny alakváltozás előzi meg. A szívósság az anyagok állapotjellemzője, amely a szilárdági jellemzőkhöz hasonlóan változtatható. Növelhető az anyagok szemcseméretének csökkentésével, a homogenitás fokozásával. Jellemzésére összehasonlító paramétereket : nyúlás, fajlagos törési munka, törési szívósság, fajlagos ütőmunka, használnak.

Kopásállóság, kémiai passzivitás. A fizikai, kémiai koptató hatással szembeni ellenállás több tényező együttes hatásától függ. Leginkább a melegkeménységgel szokták azonosítani, de a szerszámanyagok fejlesztése egyre inkább bizonyítja, hogy az él és a surlódó felületek érdessége, az anyag szemcseszerkezete egyaránt befolyásolja mind az abrazív, mind a kémiai kopásfolyamatokat. Gyakran a kopásállóságot az anyagok forgácsolóképességével azonosnak tekintik és relatív megítélésére az esztergálásnál beállítható sebesség és előtolástartományt használják.

Termikus kifáradás. A termikus kifáradással szembeni ellenállás, vagy hősokk a



4.17. ábra. Szerszámanyagok hőállósága

szerszámok felületi rétegeiben lejátszódó hő okozta alakváltozásokkal van kapcsolatban. A keletkező feszültség , párosulva a dinamikus igénybevétel hatásával elérheti az adott hőmérsékleten érvényes folyáshatárt. A keletkező repedések terjedését a résekbe befolyó anyag felgyorsíthatja. A termikus kifáradási hajlamot növelik: kicsi hővezető képesség, durva szemcseszerkezet, kis szívósság stb.

Alak és mérettartósság. Részben az anyagok rugalmas alakváltozási képességét (rugalmassági modulus), másrészt a hőtágulási együtthatóval jellemezhető hő okozta deformációját, a szerszámél mechanikai terhelhetőségét fejezi ki. Tömör keményfém szerszámokkal egy IT fokozattal pontosabb felületek képezhetők le mint gyorsacél szerszámokkal.

Megmunkálhatóság A szerszámanyag gyártásának, megmunkálhatóságának jellegét kifejező tulajdonság együttes: a forgácseltávolítás milyensége, átedzhetőség, köszörülhetőség, edzhetőség. Konkrét számszerű kifejezése nehézkes.

Előnyös ár. Az alkalmazott szerszámanyagok többségénél kulcsfontosságú alkotóelem a wolfram és a kobalt. Ezen elemek csökkenő készletei drágává teszik a szerszámanyagokat. A megmunkálhatósággal is összefüggésben álló ár jelentős hatással van a konstrukciós kialakitásra (betétezés, lapkázás).

Szerszámanyagok csoportosítása, jellemző tulajdonságaik

A szabályos élgeometriájú forgácsolószerszámként használt anyagok három fő csoportba sorolhatók:

- szerszám- és gyorsacélok (acél alapú ötvözetek),
- keményfémek és kerámiák (karbid, oxid, nitrid alapú keverékek),
- szuperkemény szerszámanyagok.

Ötvözetlen szerszámacélok gépi forgácsolószerszámként való alkalmazása elenyésző. Szabványban rögzített jele "S", mely mögötti szám a széntartalomra utal tizedszázalékban. ~ 250 °C-ig hőállók, lágyított állapotban jól megmunkálhatók.

Ötvözött szerszámacélok csoportjában különbséget kell tenni a wolframmal "W", krómmal "K" és mangánnal "M" ötvözött acélok között. A nagyméretü sajtoló, fröccs, kivágó és lyukasztószerszámok gyártásához használt szerszámanyag, hajlamos az elszéntelenedésre a szemcsedurvulásra, a köszörülés során gyakran keletkeznek bennük repedések.

Gyorsacélok. A gyorsacélok nevüket onnan kapták, hogy a növelt sebességű forgácsolás megvalósítására kerültek kifejlesztésre az 1900-as évek elején. Az ötvözött szerszámacélok felhasználhatóságában ugrásszerű fejlődést jelentett a WHITE és TAYLOR által kifejlesztett lépcsős edzés, amely elvezetett a hőállóság ugrásszerű megnövekedéséhez (650 °C). A gyorsacélok MSZ szerinti jele "R". Az ISO a DIN

szabvány alapján általános alkalmazásra javasolja az S-6-5-2-5 típusu jelölést. A számok sorrendben a W, Mo, V, Co tartalmat mutatják százalékban. A gyorsacélok 30-50 m/min forgácsolósebességig használhatók. Éles él, erőteljes pozitív élgeometria megvalósítását teszik lehetővé.

A gyorsacél szerszámanyagok olvasztásos előállításánál, hőkezelésénél fellépő inhomogenitási, szemcsedurvulási, elszéntelenedési problémák vezettek különleges gyártási eljárások: porkohászat, öntés, elektrosalakos átolvasztás (ASP gyorsacélok) kifejlesztéséhez.

Keményfémek, kerámiák

Keményfémnek nevezzük azokat az álötvözeteket, amelyeket nagy olvadáspontú karbidokból (WC, TiC, TaC, NbC) és a vascsoporthoz tartozó fémek (leginkább Co) porából porkohászati úton állítanak elő. E klasszikus megállapítás kiegészítendő azzal, hogy a magas olvadáspontú karbidokon kívül megjelentek már a boridok, nitridek, szilicitek és a zsugorithatóságot elősegítő kötőfémek között a kobalt mellett a nikkel, vas stb is.

Az első mai értelemben vett porkohászati keményfémet (Co kötőfémbe ágyazott WC) K. Schröter állította elő 1923-ban, amely eljárás szabadalmát a Krupp cég hasznosította és Widia (wie Diamant = mint a gyémánt) márkanéven forgalmazza ma is. A mai ISO "K" sorozatnak megfelelő szerszámanyag után a többkarbidos (WC, TiC, TaC), hosszú forgácsot adó fémek megmunkálására alkalmas keményfém kifejlesztésére 1931-ben került sor.

Anyagcsoport (ISO)	Jelölés (magyar)	Vegyi összetétel			Fiz-mech. tulajdonság			Terhelhetőség		Ajánlott felhasználási terület
		WC	TiC	Co	θ_{kr}	HV_{30}	R_m	v	f	
Acélok forgácsolása "P"	DA01	65	30	4	900	18000	750	↑	↓	Finomesztergálás, nagy sebesség.
	DA10	↓	↑	↓	↑	↑	↓			
	DA20									
	DA30									Nagyolás, eszt., gyalulás, marás. Alacsony forg. sebesség, nagy forgácskeresztmetszet
	DA40									
	DA50	85	5	12	850	13000	2000			
Általános rendeltetésű "M"	DU10	85	10	6	750	17000	1300	↑	↓	Acélöntvények, kemény műanyagok megmunkálása, különböző forgácsolási feltételek mellett
	DU20	↑	↑	↓	↑	↑	↓			
	DU30									
	DU40									
		80	8	12	700	13000	2100			
Rideg anyagokhoz "K"	DR01	98	-	2	850	18000	1200	↑	↓	Erősen koptató hatású rideg anyagok (Öv, szinesfémek) esztergálás, marás, üregelés. Megszakított forgácsolás. Kéreg forgácsolása
	DR10	↑		↓	↑	↑	↓			
	DR20									
	DR30									
	DR40									
		85	-	10	800	13000	2100			

θ_{kr} = Kritikus hőmérséklet, HV_{30}= Munkadarab keménysége, R_m= Szakítószilárdság

4.1. táblázat. Keményfémek felhasználási csoportjai

A porkohászat olyan gyártási módszer, amellyel fém-, ötvözet-, nitrid-, vagy szilicidporokat önállóan vagy egyéb vegyületekkel keverve a formázást, sajtolást segítő anyaggal vagy anélkül alakítanak, majd a fő alkotó olvadáspontjánál alacsonyabb hőmérsékleten, védő-reagáló közegben hőkezelnek, zsugorítanak (1400 °C). Az alakított termékekben az izzítás során a porszemcsék összehegednek és így többé-kevésbé tömör anyag keletkezik. Az izzítási folyamatot (általában méretcsökkenéssel jár) zsugorításnak nevezik. A porkohászati termékeket a kerámiagyártással való hasonlatosság miatt korábban fémkerámiának is nevezték.

A keményfémek gyártóinak alapvető törekvése, hogy minél nagyobb szívósságú (hajlítószilárdságú) és kopásállóságú (keménységű) termékeket állítsanak elő. A két egymásnak ellentmondó tulajdonság miatt csak az optimális értékek elérésére van lehetőség. A Co tartalom növelésével, homogén, mikroszemcsés szerkezet (> 0.5 μm) létrehozásával nő a termék hajlítószilárdsága, viszont csökken a keménysége. Az összetétel változtatásával a végtermék minősége tág határok között változtatható. A sokféle lehetséges keményfém közötti eligazodás megkönnyítésére az ISO egységes jelölésrendszert vezetett be. A felhasználási csoportokba sorolás alapja a keményfémek mágneses tulajdonsága. Az egyes csoportok jellemzőit az 4.1 táblázat mutatja

Különös jelentősége van a wolframmentes, TiC/TiN bázisú nikkel vagy molibdén kötőfémű keményfémeknek (**cermet**), amelyeknek nagy a kopásállósága, kicsi a surlódási tényezője, nagy a kémiai ellenállóképessége. A gyengébb szilárdsági tulajdonságok miatt azonban csak simító müveletekhez használatos.

Kerámiák

A forgácsoló sebesség lehetséges növelésének reményében 1938-ban OSENBERG alkalmazta először a kerámiát forgácsoló anyagként. A kezdeti alacsony szívósság csak a 60-as években volt lényegesen javítható.

A keményfém szerszámanyagokkal rokon mai kerámiákat oxidok /Al_2O_3, ZrO_2/, legujabban karbidok /TiC, WC, TaC/ és vagy nitridek /Si_3N_4, TiN/ kötőanyag nélküli keveréke alkotja. A kerámia szerszámanyagok felhasználásánál gondot jelent a termikus kifáradási jelenségekkel szembeni alacsony ellenállásuk, A lökésszerű hőhatásokra való fokozott érzékenységük -mely az alacsony alakváltozó képességgel és a rossz hővezetőképességgel magyarázható - kizárja a hűtőfolyadék alkalmazását.

Szuperkemény szerszámanyagok

A szuperkemény szerszámanyagok csoportjába a természetes gyémánt tulajdonságait megközelítő anyagokat soroljuk. Úgy a természetes, mint a mesterségesen előállított gyémánt, köbös bórnitrid nagy mennyiségben abrazív szerszámanyagként használatos. Szabályos élgeometriájú szerszámanyagként való felhasználásuk a szinesfémek finom megmunkálásával, acélok kemény állapotban végrehajtott esztergálásával, fúrásával került előtérbe.

Gyémánt

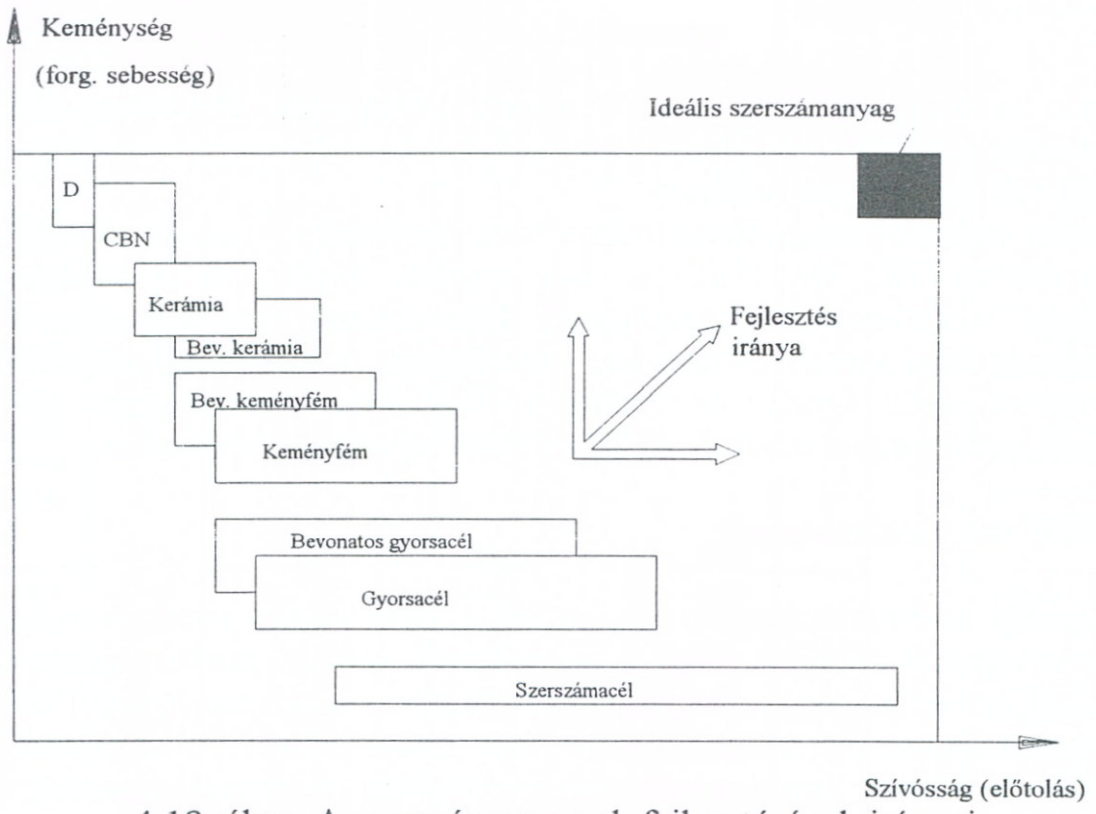
A monokristályos gyémánt használatos egyélű forgácsolószerszámként használatos szinesfémek finomfelületi megmunkálására. Az acéltestre felforrasztott gyémántkristály csak mikroszkópikus méretű forgácsleválasztásra alkalmas.

A nagynyomású technika fejlődése tette lehetővé a 60-as években a polikristályos szuperkemény szerszámanyagok létrehozását. Az alapötletet a Braziliában bányászott fekete, carbonadónak nevezett gyémánttípus adta. A carbonadó összetapadt gyémánt tűkristályok együttese, melyet nem lehet hasítani, darabolni, így köszörűszerszámok szabályozására, mikroszkópikus keresztmetszetű forgács leválasztására használják. A polikristályos gyémántot makroszkópikus keresztmetszetű, 60μm-nél kisebb átmérőjű, válogatott, tisztított szemcsékből bór, szilicium berillium katalizátor jelenlétében, (500-1000)x10^3 [N/cm^2] nyomáson 1300-3000°C hőmérsékleten, 20-30 min-ig tartó zsugorítással állítják elő.

Köbös bórnitrid

A polikristályos gyémánt (PKD) vagy köbös bórnitrid (CBN) szerszámok váltólapkák formájában kerülnek forgalomba. A váltólapka készülhet teljes egészében PKD vagy CBN anyagból, de leggyakrabban a keményfém alapanyagokra szinterelt 0,5-1,5 mm vastagságú réteg alkotja a szerszám anyagát.

A monokristály anyaggal ellentétben a polikristályos szerkezetnek nincsenek kitüntetett csúszási síkjai, ezért messzemenően izotróp és kevésbé érzékeny az ütésszerű igénybevétellel szemben.



4.18. ábra. A szerszámanyagok fejlesztésének irányai

Bevonatos szerszámanyagok

Új és mégújabb anyagok és ötvözetek kerültek folyamatosan kifejlesztésre a 60-as években. Ezek az anyagok magas szilárdsággal rendelkeztek és erős hajlamot mutattak a szerszámanyagokkal való kémiai reakcióra. E tényekből eredő megmunkálási nehézségek vezettek a bevonatos szerszámanyagok kifejlesztéséhez.(4.18.ábra) A bevonatok mintegy a kétszeresére növelték mind a keményfém, mind a gyorsacél szerszámanyagokkal elérhető forgácsolási sebességeket.
A bevonatképzés módszerei szerteágazók. A klasszikus eljárások (kemény krómozás, mártó eljárások, fémszórás stb.) bár a szerszámgyártásban is alkalmazásra kerülnek, a forgácsolószerszámoknál a vegyi felgözölögtetés, vákumporlasztás speciális alkalmazása vezetett a karbidos, nitrides, oxidos rétegek kialakításához. A bevonatok az alábbi tulajdonságokkal kell, hogy rendelkezzenek:

1. magas hőmérsékleten a keménység megtartása,
2. kémiai stabilitás és a munkadarab anyagával szembeni passzivitás,
3. alacsony hővezető képesség,
4. erős kötés az alapanyaghoz, a lepattogzás elkerülése,
5. kicsi porozítás.

A bevonatok rétegvastagsága 5 - 10 µm és előállíthatók magas hőmérsékletű (800 °C) CVD, illetve alacsonyhömérsékletű (500 °C) PVD eljárással (HSS anyagra történő rétegképzés esetén alkalmazzák). Hatékonysága növelhető, ha az alapanyag kemény, szívós, és jó hővezető képességű.

Titán-nitrid bevonatanyag csökkenti a surlódási tényezőt, jó hőálló, a hátkopásnak nagyon jól ellenáll és jól tapad az alapfémhez is. Alacsony sebesség esetén az élrátétképződés miatt alkalmazása kerülendő. Az aranyszínü bevonat a legszélesebb körben alkalmazott mind keményfém, mind gyorsacél szerszámanyagokhoz.

Titán-karbid mint bevonatanyag kiváló hátkopásállóságával és az alapfémhez való kötődésével tünik ki. Többrétegű bevonatok alaprétegeként használatos leginkább.

Kerámia bevonatanyag elsősorban Al_2O_3-t jelent. Jó hőálló, kemény, a vasalapu fémekkel szemben passziv, sajnos az alapfémhez való kötődése gyenge. Egy, de különösen többrétegű bevonatként egyre jelentősebb alkalmazási területet vív ki különösen a nagy forgácsolási sebességgel végzett esztergálás esetén.
A folyamatos fejlesztés eredményeképpen döntően speciális alkalmazásokhoz karbonitrid Ti(C,N), hafniumkarbid HfC, aluminiumnitrid TiNAl, crómnitrid CrN, keménybevonatokat és néhány gyorsacél alkalmazáshoz lágy molibdéndiszulfid MoS_2 bevonatot fejlesztettek ki. Ma még különlegességnek számít a speciális eljárás révén realizált gyémánt bevonat.

4.3.2. Forgácsolószerszámok élgeometriája

Hogy a szerszám, funkciója betöltésére alkalmas legyen, azaz forgácsot válasszon le és az előírt minőségben felületet alakítson ki, a forgácsolóéket, azaz a forgácsolóélt és az azt meghatározó felületeket bizonyos törvényszerűségek szerint kell kialakítani. Ez az élgeometriai elemzés és tervezés keretében történik.

Élgeometria a szerszáméket alkotó geometriai elemek és azok kölcsönös helyzetét meghatározó, általában szögparaméterek összessége.

Az élgeometriai problémákat célszerű a legegyszerűbb szerszám, a forgácsolókés alapján elemezni.

A 4.19. ábrán egy esztergakés látható, rajta mindazok a felületek, amelyek a szerszám befogásakor az él helyzetét, a munkadarab - szerszám érintkezésének módját meghatározzák.

A_γ - homloklap, amelyen a forgács lefut,

A_α - hátlap. amely a forgácsolóéket a munkadarab felől határolja,

S - fő(forgácsoló)él, a homlok, valamint a hátlap metszésvonala.

Használatos koordináta rendszer. Minden szöget egy kitüntetett síkra, az u.n. Pr jelű alapsíkra vonatkoztatnak, melynek helyzetét a forgácsolósebesség iránya határozza meg, mivel az alapsík merőleges a sebességirányra (4.20. ábra).

Ebből kiindulva lehet meghatározni a többi síkot is.

Két koordináta rendszer használatos, melyek közös koordináta síkja az alapsík.

Az ortogonál rendszert a P_r, P_o, P_s síkok alkotják (4.20.ábra)

P_s- az élsík a szerszám élét tartalmazó, az alapsíkra merőleges sík

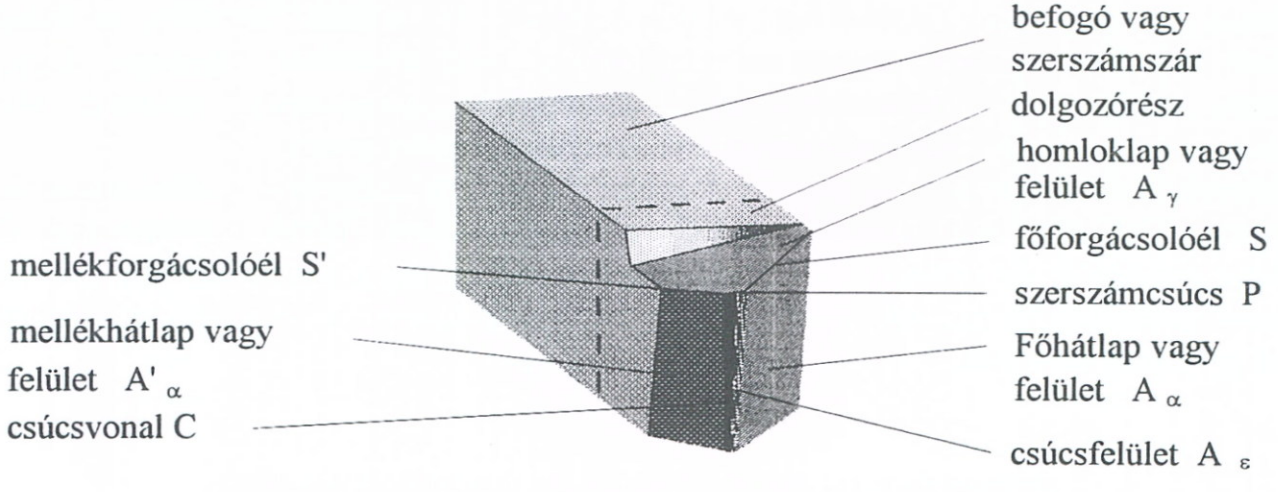
P_o- az ortogonálsík az él egy kiválasztott pontjában az alap és élsíkra merőleges sík

A funkcionál élszögrendszert a P_r, P_f, P_p síkok határozzák meg.

P_f- a sík az él egy kiválasztott pontjában az előtolásiránnyal párhuzamos alap síkra merőleges sík

P_p- A passzív sík az él egy adott pontjában az alap és funkcionál síkra merőleges sík.

Az alapsíkban értelmezett szögek:



4.19. ábra. Esztergakések élgeometriáját meghatározó felületek

κ - főélelhelyezési szög
κ' - mellékélelhelyezési szög
ε - csúcsszög

Definicó szerint:

$\kappa+\kappa'+\varepsilon=180^o$.

Bármely metszősíkban értelmezett szögek:
(4.20.ábra)

γ- homlokszög, a homlok felület és az alapsík közötti szög a mérősíkban mérve
α- hátszög, a hátfelület és az alapsík közötti szög a mérősíkban mérve
β- ékszög, a hát és homlok felület közötti szög a mérősíkban mérve.

A forgácsoló ék helyzetét meghatározó szögek közötti összefüggés:

$\alpha+\beta+\gamma=90^o$.

A metszősíkban értelmezett szögek annak indexét viselik.

Kiegészítő, nem szögjellegű élgeometriai adatok:

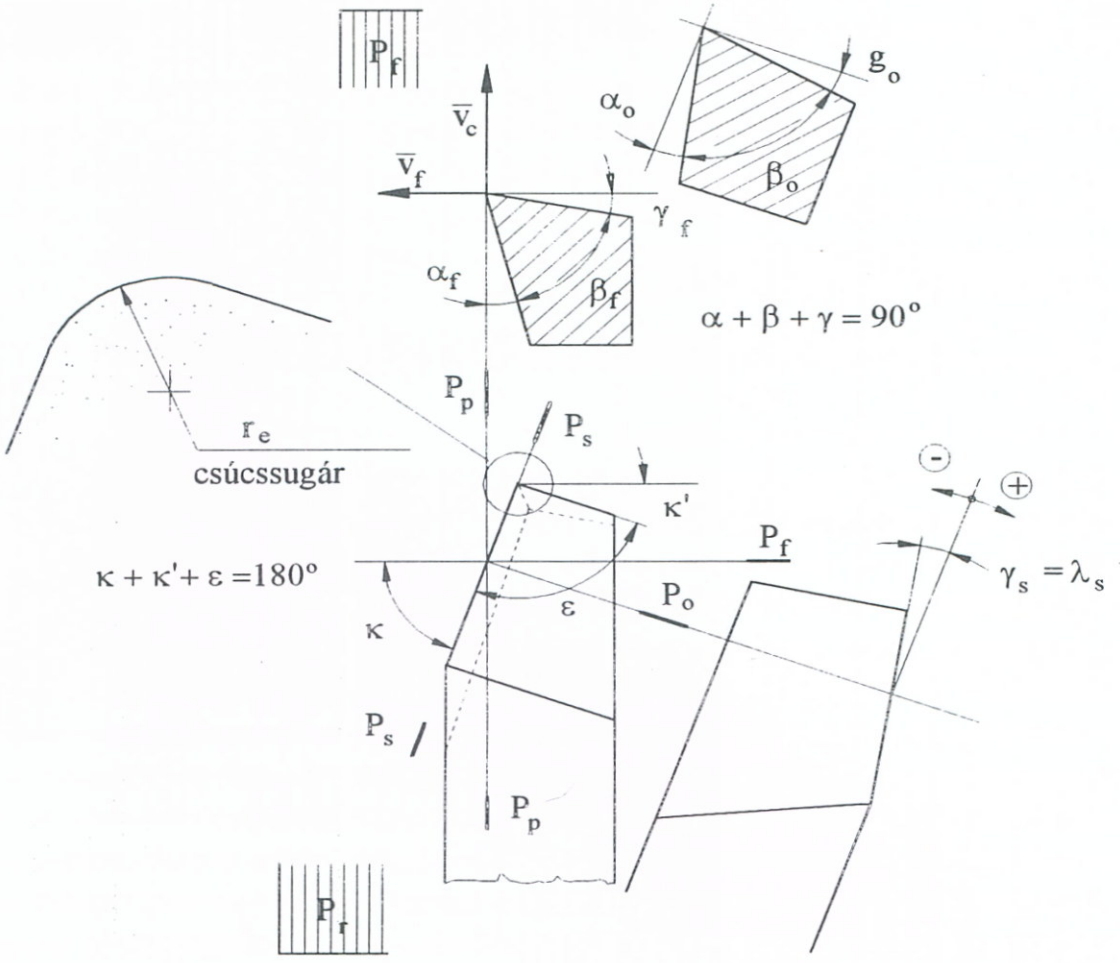
Reális szerszámon a homlok- és a hátlap között lekerekített átmenet van. A lekerekedést jellemző névleges sugár r_n az élsugár, melyet az élre merőleges metszetben értelmeznek és mérnek.

A szerszámcsúcs a forgácsolóélnek az a része, ahol a fő- és a mellékél találkozik. A két él nem egy pontban metszi egymást, közöttük fokozatos lekerekítés, átmenet van, amely az u.n. r_ε csúcssugárral jellemezhető. Geometriai vizsgálatoknál célszerű ezt az élszakaszt és a hozzá tartozó hátfelületet önállóan kezelni, mivel az önálló geometriai jelemzőkkel rendelkezik. A két hátfelületet egy forgásfelülettel, általános esetben kúppalásttal kötik össze. A hátkúp síkmetszetének alapsíki vetülete görbületi sugara a már említett r_ε csúcssugár (4.21. ábra).

A szögek előjele: a szerszám élgeometriájába tartozó szögek előjeles mennyiségek: általános szabály, hogy a κ és ε szögek mindig pozitívak, mig a κ' előjele kiadódó, de általában pozitiv. A homlokszögek, (beleértve a terelőszöget is) és a hátszögek mindig hegyesszögek. A hátszög előjele kiadódó érték, de figyelembe véve hogy a ß szög előjele mindig pozitív, általában a hátszög is pozitívra adódik.

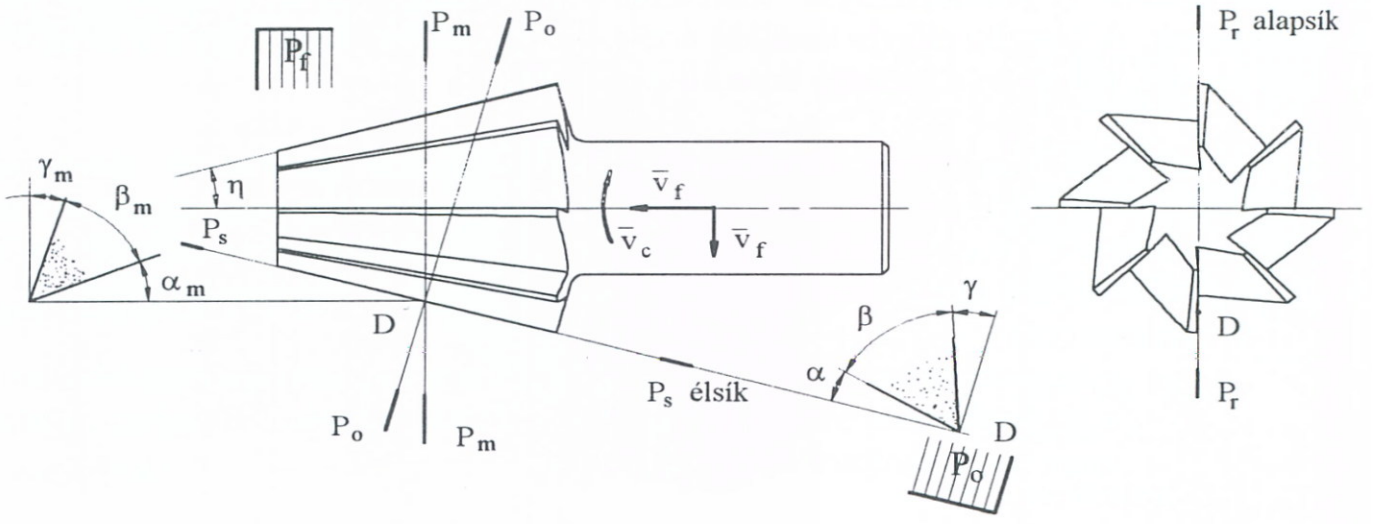
Az élgeometriai viszonyok általánosítása. A szerszám geometriai viszonyainak (tulajdonságainak) elemzése a modellszerszámon, a kérdimenziós vagy háromdimenziós un. "állószerszámon", forgácsolókésen történt. A megállapítások kiterjeszthetők többélű, forgó főmozgást végző szerszámokra is, az alábbi sajátosságok figyelembe vételével:

- a Pr szerszámalapsík illeszkedik a szerszám forgástengelyére;
- a Pf funkciónál vagy munkasík az előtolás irányától függően merőleges vagy párhuzamos a forgástengellyel.



4.20. ábra. Esztergakés élgeometriája

Ugyanez vonatkozik a κ elhelyezési szög meghatározására is. Az első eset a furatmegmunkálásnak, a második a marásnak felel meg (4.21.ábra). Általában megállapítható, hogy a többélű szerszám egy foga müködés-, valamint élgeometria szempontjából egyélű forgácsolókésnek tekinthető.



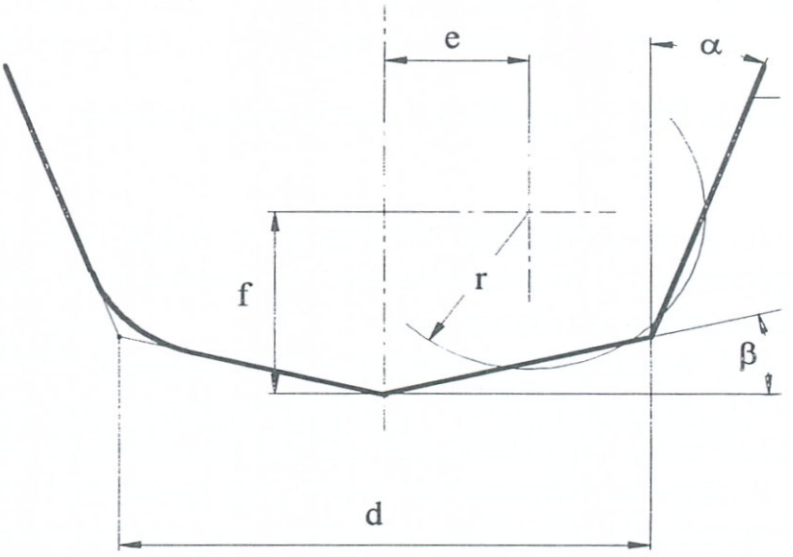
4.21. ábra. Szabályosan többélű szerszám élgeometriája

4.4. Szerszámellátás, szerszámrendszerek

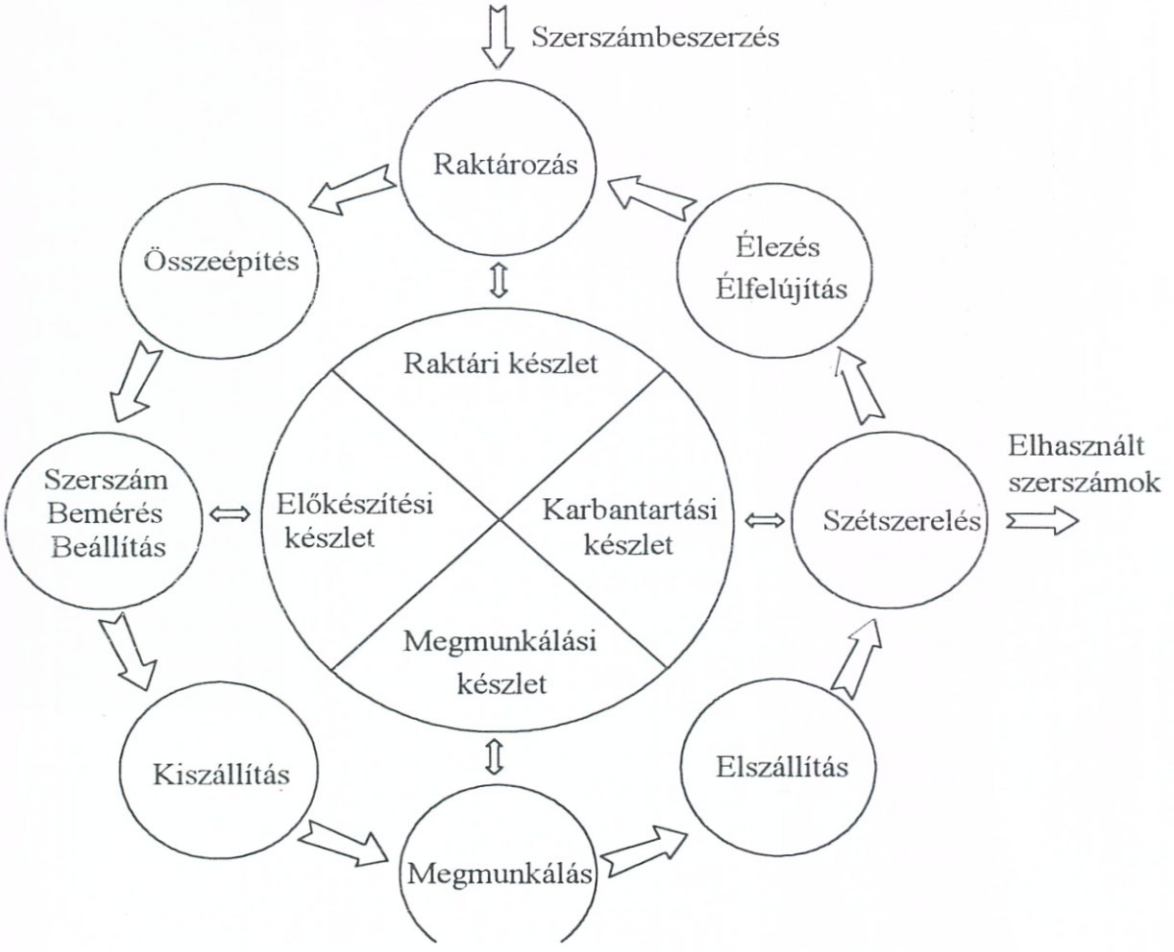
4.4.1 Szerszámok modellezése

A szerszámok leírása, modellezése az alkalmazhatóságokat, konstrukciós kialakításukat meghatározó adatok felvételét, rendezett adatbázisokban való összegyűjtését jelenti. A számítógépes technológiatervező rendszereknél alkalmazandó szerszámkártya egy jellemző példája a 10. fejezetben tanulmányozható. A szerszámmodell mint általában egy összetett konstrukció modellje a következő elemekből áll:

- geometriai adatok
- felépítési struktúra,
- technológiai adatok.



4.22. ábra Marószerszám általános geometriai modellje



4.23. ábra. A szerszámellátási folyamat elemei

A technológiai adatok a szerszám anyagától, szilárdsági tulajdonságaitól függő a technológiai tervezés során figyelembe veendő korlátadatok.

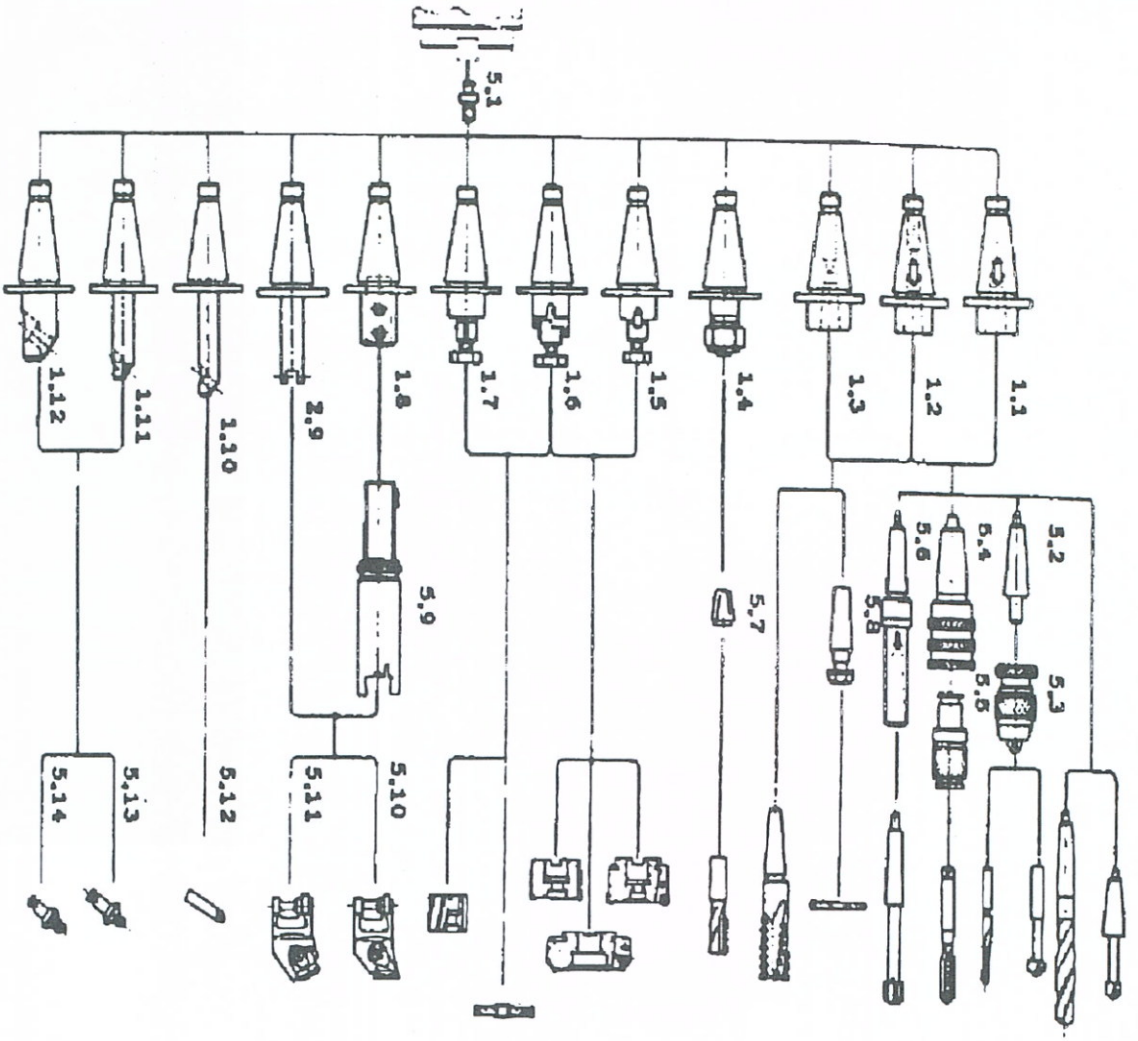
A marószerszámok ISO szabvány szerinti általános geometriai modellje a 4.22. ábrán látható.

4.4.2. Szerszámellátási körfolyamat elemei

A szerszámellátás értelmezése: Adott munkadarab, termék, megmunkálásához, gép, gépcsoport, működtetéséhez szükséges szerszámkészlet, szerszámelemek kiválasztása, mozgatása, karbantartása.

Egy rugalmas gyártócella, gyártórendszer szerszámellátási közfolyamatának elemeit az 4.23. ábra szemlélteti. A felszerszámozás megoldását döntő mértékben meghatározza az adott cella vagy üzemrész szintjén alkalmazott szerszámrendszer.

A szerszámrendszeren adott gép szerszámhordozójához kapcsolódó szerszámelemek összességét értjük, a váltólapkáktól a szerszámtartóig. A rendszerek moduláris kialakítása csökkenti a készletezendő szerszámok számát, növeli a szerszámozás rugalmasságát.



4.24. ábra. Szerszámrendszer struktúrája

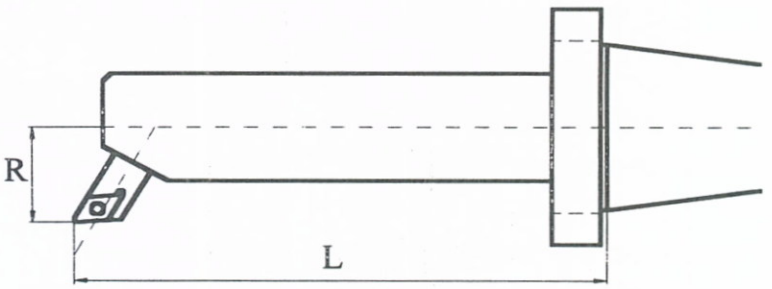
A moduláris szerszámrendszerekben a legfontosabb kérdés az elemek csatlakozásáak megoldása, illetve az automatizálás lehetősége. A külső felületek szerinti helyzetmeghatározást megvalósító prizmatikus csatlakoztatások mellett, a biztos z irányú helyzetet és nehézkes szerelhetőséget eredményező hengeres központosítás általánosan használt. A kúpos csatlakoztatás a jó központozó képességgel, könnyű szerelhetőséggel és bizonytalan z irányú helyzettel tűnik ki.
A modulrendszer építőelemei:

- váltólapka,
- forgácsoló betét,
- forgácsoló szerszám,
- szerszámbefogó,
- szerszámadapter (hosszabbító),
- szerszámtartó.

Egy moduláris szerszámrendszer elemkészletét és struktúráját az 4.24. ábra személteti.

4.4.3 Szerszámok bemérése, beállítása.

Először a revolveresztergák alkalmazásakor vetődött fel a szerszámok előzetes beállításának igénye. Az automatikus szerszámváltás és csere gyors és pontos realizálása, illetve a megvalósítása utáni pontos megmunkálás szükségessége táplálta ezen igényt. Beállítás alatt egy elemekből összeépíthető szerszám élének adott értékre állítását, míg bemérés alatt a fix szerszámok adott kinyúlásának meghatározását értjük. (4.25. ábra)



4.25. ábra. Szerszámbemérési jellemzők

A szerszámgépek automatizáltságának és a szerszámozás színvonalának függvényében választhatunk a gépen belüli (a) és gépen kivüli (b) beállítási, szerszámbemérési módszerek közül:

a1 A próbaforgácsolás meglehetősen egyszerű módszer, melynek előnye az eszköztelenség. Az első próbadarabon végzett ellenőrző mérés alapján a szerszámok utánállítása vagy a mérethiba vezérlésen keresztül történő korrekciója lehetséges.

a2 Szerszámkinyúlások gépen belüli bemérése a szerszámgép mérőrendszerét használva. A módszer hátránya, hogy a drága gépidőt használja. Bázisváltás híján a legpontosabb bemérési módszer.

b1 Gépen kívüli beállítás sablonnal, mesterdarabbal. A módszer a próbaforgácsolás és az alkalmazott mérőeszköz pontosságát hordozza magában. Egyszerű megoldás.

b2 Gépen kívüli beállítás készülékben. A beállításhoz mechanikus tapintókkal, mérőórákkal vagy optikai (normál fény és lézer) rendszerrel ellátott eszközök használhatók.

b3 Beállítás nélküli szerszámbefogás munkaigényesség szempontjából a legegyszerübb de egyben itt támaszthatók a legkritikusabb követelmények a szerszámok építőelemeivel szemben, mivel a szerszám összeépítése és beállítása a katalógusméretek alapján történik.

4.4.4 Szerszámazonosítás

A szerszámok gépen belüli mozgatása, cseréje történhet manuálisan vagy szerszámcserélő berendezés révén automatikusan. A gyártásirányítási stratégia függvényében egyidejűleg a

- teljes tár,
- szerszámegyedek

cseréje történhet meg.

A szerszámozás függvényében lecserélhetjük a teljes szerszámot vagy csak a szerszámfejet (forgácsoló rész). Az automatikus szerszámcsere megvalósítása szükségessé tette a szerszámazonosítás megoldását. A szerszámazonosítás alkalmazott eljárásai:

- tárcímes,
- szerszámcímes.

A **tárcímes** megoldás lehet fix tárhelyhez kötött vagy változó, de mindenképpen a vezérlésben kell a szerszám helyzetváltoztatását nyomon követni. A szerszámhelyzetet tároló táblázatot folyamatosan karban kell tartani.

A **szerszámcímes** megoldások lehetővé teszik a szerszámos információk egyedekhez kötött tárolását. Alternatívák:

- kódgyűrük (alkalmazása nehézkes, csak a szerszámazonosító tárolható)
- vonalkód (széles körben elterjedt, egyszerű, olcsó, információtartalom megváltoztatása nehézkes)
- memóriaelem (irható, olvasható, lehetséges az azonosítón túl egyéb információk tárolása is.)

4.5. Készülékek automatizálása

A korszerű gyártásban mára már mindennapossá váltak az automatikus kiszolgálású és vezérlésű megmunkáló cellák. Ezekben az alkatrész és a szerszám cseréje emberi beavatkozás nélkül, robotok vagy manipulátorok segítségével zajlik. A munkadarab és a szerszám befogására, a szerszám megvezetésére szolgáló készülékek nyitása, zárása, esetleges beállítása az automatizált gyártásban szintén automatikusan történik. Például egy esztergálandó alkatrész cseréjekor a manipulátor megfogja a tokmányban levő alkatrészt (visszajelzés a megfogásról), a vezérlés nyitja a tokmányt (visszajelzés a

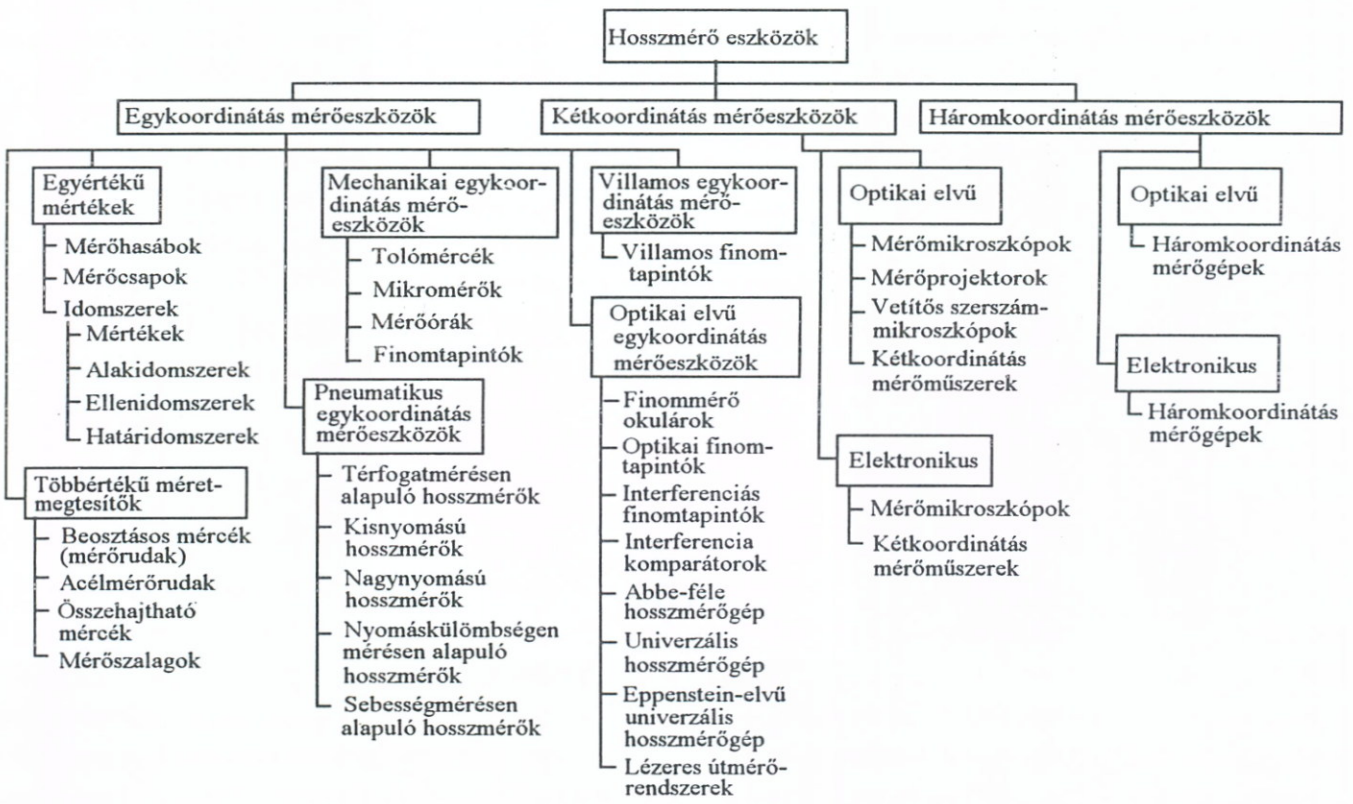
nyitásról), a manipulátor elviszi a kész, és hozza az előkészített munkadarabot (tokmány nyitottságának ellenőrzése), behelyezi az alkatrészt, utasítást ad a tokmány zárására (visszajelzés a zárásról), végül a manipulátor távozik a munkatérből.

Az ismertetett példának megfelelően a készülékek összeállításakor olyan elemek választása szükséges, amelyek elektronikus vezérléssel mozgathatók, zárhatók, nyithatók, például a szorító elemek esetén a gépi szorítás elemei. Az automatikus működéshez elengedhetetlen, hogy a készülék bizonyos állapotairól a vezérlés tudomást szerezzen (a példában is szereplő visszajelzések, ellenőrzések formájában). Az információt a megfelelő helyre beépített érzékelők (jelenlét érzékelő, elmozdulás és erő szenzorok) szolgáltatják.

4.6. Mérőeszközök

4.6.1. Hosszmérőrendszerek

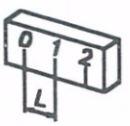
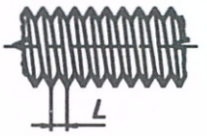
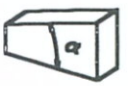
Az egykoordinátás mérőműszerek (4.2. táblázat) a hosszmérést egy koordináta irányában teszik lehetővé. Közéjük tartoznak az egyszerű mechanikai egyértékű méretmegtestesítők, mint pl. a **mérőhasáb** (4.3. táblázat) és az **idomszerek** (4.4. táblázat), valamint az olyan többértékű méretmegtestesítők, mint az osztással ellátott **mércék**.(4.3. táblázat).



4.2. táblázat
Hosszmérő eszközök áttekintő táblázata

A párhuzamos lapú mérőhasábok igen pontosan megmunkált derékszögű testek, leppelt plánparalell mérőfelülettel. Finom lépcsőzésben, készletekben, kereskedelemben kaphatók. Mérőfelületeikkel egymásra helyezve különböző kombinációk kialakítására adnak lehetőséget.

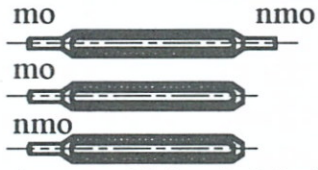
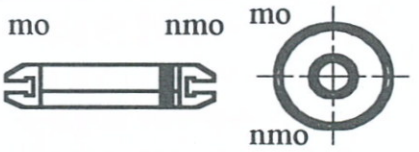
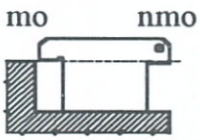
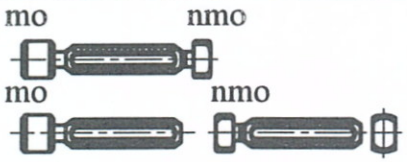
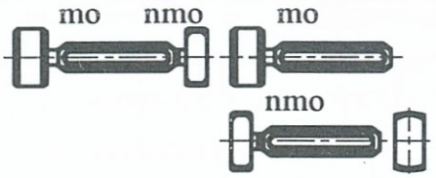
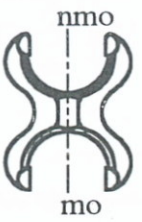
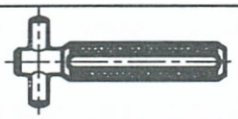
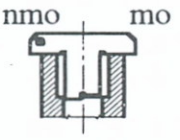
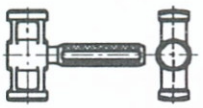
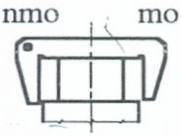
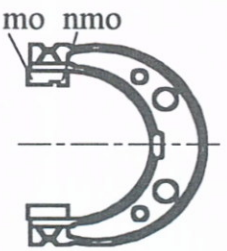
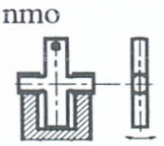
A hengeres mérőhasábok henger alakú mérőfelülettel ellátott testek, furatok átmérőjének,távolságának meghatározására alkalmasak.

Jellemzők	Hosszmérték				Szögmértékek	
	Mérőhasáb	Hengeres mérőcsap	Beosztásos mérce	Mérőorsó	Szögmérőhasáb	Derékszög
Építési elv						
A méret definiálása	Az L méretet a két, egymással párhuzamos mérőfelület távolsága realizálja	Az L méretet a körkörös mérőfelület átmérője realizálja	Az L méretet két osztásjel középvonalának a távolsága realizálja	Az L méretet a menetprofil két egymást követő jobb oldalának vagy bal oldalának a tengellyel párhuzamos távolsága realizálja	Az α szöget két leppelt mérőfelület által bezárt szög realizálja	A derékszöget két mérőfelület által bezárt szög realizálja
Alkalmazás	Kapcsolat a hullámhosszon alapuló etalonokhoz, a hosszegységek továbbadása mérőhasáb-kombinációkkal	Furatátmérők és furattávolságok mérése	Üvegskálák, acélmértékek tolómércék, mérőmikroszkópok, mérőgépek, koordináta-mérőgépek	Mikrormérők görgőscsavaros áttételek, mérőmikroszkópok, szerszámmikroszkópok mérőpadok, koordináta-mérő műszerek	Körosztás ellenőrzése, szerszá-mok és készü-lékek	Munkadarabok és szerszámok derékszögűségének beállítása, készülékek beállítása

4.3. táblázat. Hossz és szögméréstechnika méretmegtestesítői

Idomszerek

A gyártandó munkadarabok számának növelésével, a nagysorozatú és a tömeges gyártás megjelenésével a XVIII. század végén (főleg a fegyvergyártásban) kialakult munkamegosztás felvetette a cserélhetőség gondolatát. Gyakran a fegyverek alkatrészeit különböző helyen gyártották, illetve ugyanazt a típusú fegyvert több helyen is készítették. Eleinte a különböző műhelyekben gyártott alkatrészek nem voltak cserélhetőek, mert nagyon gyakran vagy "szemre" készítették őket vagy primitív, nem hitelesített mérőeszközökkel mértek. Megoldásként védjeggyel ellátott sablonokat kezdtek használni, melyeket a "Fegyverkancellári Hivatalok" hitelesítettek.

Átmérő csoportok mm	SIMA IDOMSZEREK OSZTÁLYOZÁSA		
	Lyukmérő idomszerek	Csapmérő idomszerek	Mélységmérő idomszerek
> 1 -3	 Huzalos egyoldalas és kétoldalas idomszer	 Szájas idomszer Gyűrűs idomszer	 Mélységmérő idomszer lépcsős mérethez
> 3 -30	 Csapos egyoldalas és kétoldalas idomszer		
> 30 -50	 Rátétgyűrűs egyoldalas és kétoldalas idomszer	Egyvillás idomszer	 Kétvillás idomszer
> 50 -100	 Nem megy oldali gömbösvégű idomszer		 Mélységmérő idomszer furathoz
> 100-120	 Hengeresvégű lapos megy oldali idomszer	Nem megy oldali gömbös idomszer	 Mélységmérő idomszer csaphoz
> 120-180			
> 180-315	Hengeresvégű lapos megyoldali idomszer	 Betétes egyvillás idomszer	 Billenő mélységmérő idomszer

4.4. táblázat. Idomszerek

mo - megy oldali ; nmo - nem megy oldali ; * - mérethatár nélkül

A sablonnal való ellenőrzéssel tulajdonképpen nem konkrét méretet állapítottak meg, hanem minősítettek. Eldöntötték, hogy jó-e a darab vagy használhatatlan (ezenbelül javítható-e vagy javíthatatlan selejt). A döntés részben szubjektív volt mindaddig, míg a tűrés és illesztés fogalmából annak szabványosítása ezt teljesen objektívvé nem tette. Hazánkban 1919-től a Ganz gyárban Kandó Kálmán intézkedésére megkezdték a tűrés és illesztés egységesítését, szabványosítását.

A sablonnal való ellenőrzésből alakult ki a XX. század kezdetén az idomszeres ellenőrzés. (A sablont un. normál idomszernek is nevezzük). Ezen a területen W. Taylor angol mérnök munkássága úttörőjellegű volt. A róla elnevezett un. Taylor elv alapgondolata a tűréshatárok ellenőrzése, melynek eszköze a határmérő idomszer. Mivel minden méretnek két határa (alsó határmérete: AH és felső határmérete: FH) van, így a mérő-,ellenőrző eszközt (idomszert) is két méretre kell készíteni, mellyel a két határméret ellenőrizhető és minősíthető.

Az egyik mérethatárt ellenőrző idomszert "megy oldali", míg a másikat "nem megy oldali" jelzővel látják el, melyek a mérés, az ellenőrzés egyetlen kritériumára utalnak:

- ha jó a darab (a méret) akkor "rámegy" vagy "belemegy" (**megy oldali idomszer**),
- ha jó a darab (a méret) akkor "nem megy rá", vagy "nem megy bele" (**nem megy oldali idomszer**).

Ha a darab selejt legalább az egyik esemény nem igaz. A fentiek alapján megállapítható, hogy az idomszer nem mér, hanem minősít. Nem abszolút méretet állapít meg, hanem osztályoz, csoportba sorol:

1. **feltételesen** jó a darab, ha az idomszer megy oldali része "rámegy" vagy "belemegy",
2. **feltétlenül jó** a darab, ha az előző minősítést követően az idomszer nem megy oldali része "nem megy bele" vagy "nem megy rá". Az ellenőrzés fordított sorrendben is megengedett..
3. **feltétlenül selejt** a darab, ha az idomszer nem megy oldali része "rámegy vagy "belemegy" (javíthatatlan selejt: FH-méretnél nagyobb furatátmérő vagy AH-méretnél kisebb csapátmérő).
4. **javítható selejt** a darab, ha az idomszer megy oldali része "nem megy rá" vagy "nem megy bele" (AH-méretnél kisebb furatátmérő, FH-méretnél nagyobb csapátmérő: utánmunkálással javíthatók).

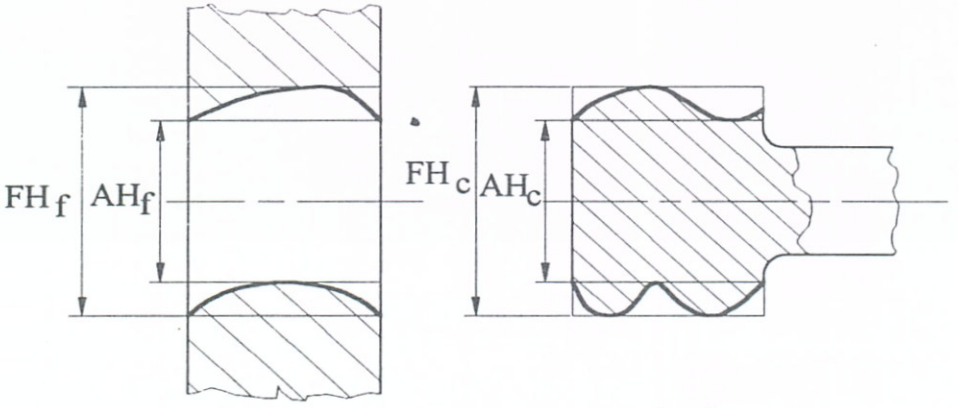
A **Taylor elv** szerint a megy oldali idomszert úgy kell kialakítani, hogy a munkadarab minősítendő felületének jellemző méretét (pl. átmérőjét) teljes felületen, a felület teljes kiterjedésében egyszerre ellenőrizze, míg a nem megy oldali idomszer pl. az átmérőt pontpárok távolságaként külön-külön mérje (végtelen számú variáció). Az, hogy idomszer megy oldala rámegy a "jó" munkadarabra vagy belemegy a "jó" munkadarabba azt jelenti, hogy pl. hengeres munkadarab esetén az összes átmérőt, összes tengelyirányú metszetében egyszerre méri, így az idomszer alakhűséget is vizsgál.

Az idomszer nem megy oldalának-mely nem mehet rá a darabra vagy nem mehet bele a darabba-azért kellene külön-külön ellenőrizni mindenegyes méretet (minden létező pontpár távolságát, minden lehetséges átmérőt), mert a határméretek esetleges túllépése csak így mutatható ki.

Az idomszeres mérés Taylor elvéből következik, hogy a felületek alakeltérése a tűrésmezőn belül tetszőleges lehet "feltétlenül" jó minősítésű darab esetén (4.26. ábra) az alakeltéréseket külön kell tűrésezni.

Az idomszerek a mérendő felületek alakja és egymáshoz viszonyított elhelyezkedése szerint három csoportba sorolhatók:

- sima (lyukmérő, csapmérő, lépcsősméret vagy mélységmérő) idomszerek,
  Sima idomszerek mindig egy méretet (külméret, belméret, átmérő, hosszúság, mélység, lépcsőmagasság stb.) ellenőriznek. Megy és nem megy oldali idomszerek, egyoldalas vagy kétoldalas kivitelben készülhetnek, azaz a megy és a nem megy oldali idomszer külön-külön mérőelem vagy egy mérőelemen vannak elhelyezve (4.4. táblázat)
- alakos (szögmérő, kúpmérő, menetmérő, fogazat ellenőrző stb.) idomszerek.
  Az alakos idomszerek zömmel határmérő idomszerek, de előfordul közöttük un. normál idomszer, melynek nincs külön megy oldali és nem megy oldali része. Ilyen idomszerek a szögmérő idomszerek (pl. derékszögek), ahol a minősítés fényrés ellenőrzéssel történik; ez bizonyos szubjektív hibát vihet a minősítésbe.
  Az alakos idomszerek ellenőrizhetnek egyetlen méretet (szögmérés) vagy több méretet határmérő idomszerként megy oldali és nem megy oldali kialakításban (kúpmérésnél: a kúpszög, egy átmérő és a kúp hosszának ellenőrzése egyetlen megy és nem megy oldali idomszerrel; menetmérésnél: középátmérő ellenőrzése, a középátmérőbe kumulált menetemelkedési és szelvényszöghibák ellenőrzése egyetlen megy és nem megy oldali idomszerrel stb.).
- alak- és helyzetpontosságot mérő komplex idomszerek
  Ezek az idomszerek nem méretet, hanem használhatóságot ellenőrző, komplex ("helyezkedésmérő") idomszerek, melyek egyszerre akár több alak-és helyzettűrés együttes minősítését végzik (pl. bordás tengely vagy hüvely ellenőrzése). Ezek használata előtt a mérettűréseket sima idomszerrel ellenőrizni kell (pl. bordástengely külső átmérője, belső



a, Furat b, Csap

4.26. ábra. Az alakeltérés "feltétlenül jó" minősítésű darab esetén a T=FH-AH tartományban bármilyen lehet, ha a darabra alaktűrést nem írtak elő.

átmérője, bordaszélesség), ha a minősítés valamennyi méretre "feltétlenül jó" csak akkor kell, akkor van értelme a használhatóságát ellenőrizni. Ez az idomszertípus a mérendő darab ellendarabját testesíti meg. Pl. bordáshüvely ellenőrzése esetén a vele illeszkedő bordástengelyt "helyettesíti".

A Taylor elvből adódó követelmények maradéktalan teljesítésének a legtöbb munkadarab esetén műszaki és gazdaságossági korlátai vannak. Példaként említve hosszú tengely átmérőjének ellenőrzését, ahol a Taylor elv alapján a tengellyel azonos hosszúságú furatos (gyűrűs) elem lenne a megy oldali idomszer.

Ez egyrészt nagy súlyú, másrészt igen drága lenne. A hosszú, a munkadarab tűrésének csak egy tizedét kitevő tűrésű furat gyártása esetleg nem lehetséges vagy csak igen költséges technológiával gyártható.

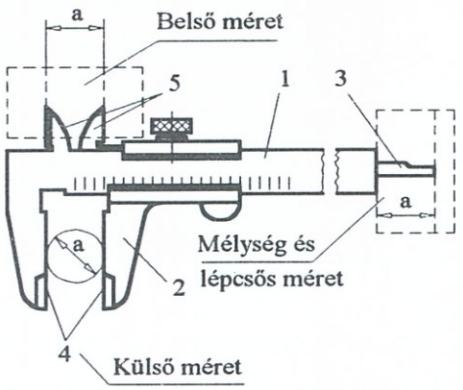
A fentiek miatt az idomszerek kialakításánál egészséges kompromisszumra kell törekedni még a nem megy oldali idomszer esetén is, ahol a pontpáronként való ellenőrzés igen hosszadalmas lenne, illetve a pontszerű mérőfelülettel rendelkező idomszer már néhány száz mérés után a gyors kopás miatt használhatatlan lesz.

A kompromisszum a fentiek alapján a következőkből áll:

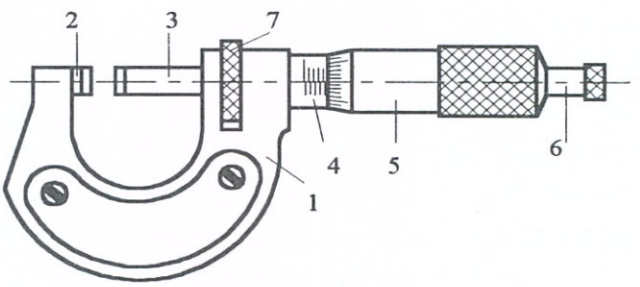
- a megyoldali idomszer mérőfelületét (hosszát és keresztmetszetét is) ésszerűen csökkenteni kell, így a mérés nem a munkadarab teljes felületen történik, de az idomszer súlya jóval kisebb lesz és ára is elfogadhatóvá válik, (4.4. táblázat)
- a mérőfelületek gyors kopásának elkerülésére a nem megy oldali idomszer mérőfelületeit ésszerűen növelni kell (4.4. táblázat).

Az idomszerek kialakításánál ügyelni kell arra, hogy a Taylor elvből adódó követelményektől való eltérés a műszakilag indokolt legkisebb mértékű legyen.

A mérőfelület és a mérendő felület nagyságát tekintve a kis átmérőjű és kis hosszúságú furat vagy csap megy oldali idomszere esetén eltérés nem, vagy alig indokolt (gyűrűs idomszer, huzalos dugós idomszer 4.4. táblázat). Nem megy oldali idomszernél ez az igen nagy átmérőjű furat vagy csap ellenőrzésekor valósul meg (gömbösvégű idomszer, betétes egyvillás idomszer lásd 4.4. táblázat)



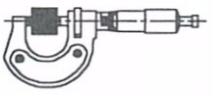
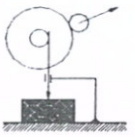
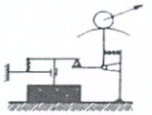
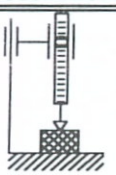
4.27. ábra.
1 szár a főosztással; 2 szán és nóniusz; 3 mélységmérő; 4-5 mérőcsőr



4.29. ábra. Mikromérő
1 kengyel; 2 mérőcsap; 3 mérőorsó; 4 mérőhüvely 1 és 0.5 mm-es osztásokkal; 5 dob tized és század mm-es osztásokkal; 6 mérőnyomást szabályozó dörzsfék; 7 orsórögzítő

Az idomszerek használatánál három fontos szabályt (feltételt) kell megemlítenünk:

- a mérési hőmérséklet 20 °C,
- sima idomszereknél a megy oldali idomszernek lehetőleg saját súlyánál fogva kell a furatba vagy a csapra rácsúsznia, különben a különböző mérő erőknél fellépő deformációk meghamisíthatják a minősítést (kis keresztmetszetű, kis merevségű villásidomszerek nagy mérőerők hatására kinyílnak és a selejtet is jónak minősíthetik) illetve a kopás intenzitása megnő, a munkadarab felülete megsérülhet.
- a megy oldali idomszereknél a mérés során a teljes mérendő felületet le kell tapintani. Ez a Taylor elv követelményeitől eltérően kialakított mérőfelületek miatt azt jelenti, hogy az idomszert különböző technikák szerint végig kell vezetni a felületen, ez megnöveli a mérési időt.

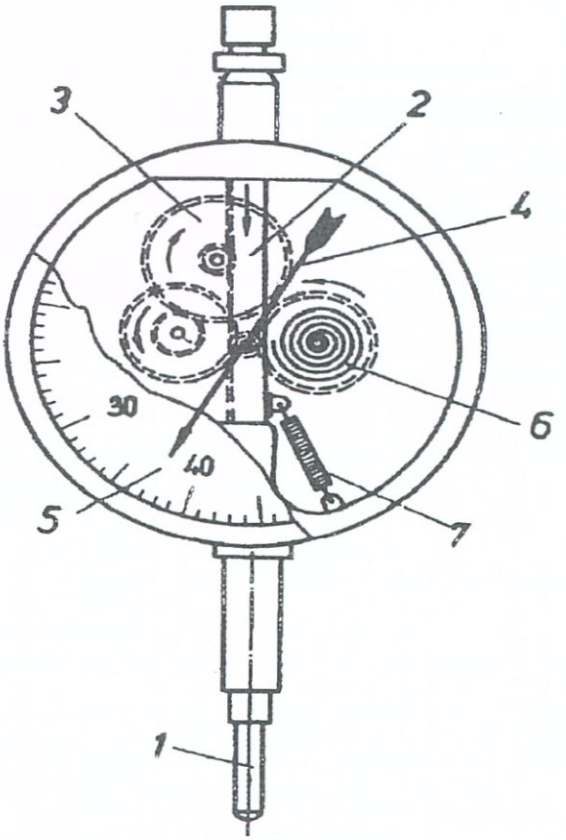
□	Tolómérce	Mikrométrő	Mérőóra	Finomtapintó	
Jellemzők	Ellenőrző tolómérce	Kengyeles mikrométrő	Mérőóra	Emelőkaros finomtapintó	Abbe-féle hosszmérő
Építési elv					
Előnyök	Egyszerű kialakítású, olcsó, robusztus.	A próbatest és a méretmegtestesítő folyamatosan, egy tengelyen, egymásután helyezkedik el.	Egyszerű felépítésű, olcsó, robusztus	Robusztus, pontos.	A munkadarab és a mérce pontosan egy tengelyen helyezkedik el
Hátrányok	A vizsgálandó test és a mérték egymástól párhuzamosan eltolva helyezkedik el.	A mérőmenet érzéketlen a mérőerő által okozott elváltozásokra	Teljes kitérésnél aránylag nagy mérési hiba	Ajánlott stabil mérőálvány és a próbatest rögzítése	Csak laboratóriumi feltételek és hőmérséklet stabilizálás mellett alkalmazható
Alkalmazás	Laboratórium és termelés, különösen külső méretek mérésére és mérőcsőrrel belső méretekhez is.	Laboratórium és a termelés, külső méretekhez és közvetlen mérésekhez	Laboratórium és a termelés, külső méretekhez és különbség mérésekhez	Laboratórium és a termelés, különbség mérésekhez	Preciziós laboratóriumi mérések, közvetlen és különbség mérések

4.5. táblázat. Alapvető mechanikus, optomechanikus elven működő hosszmérő eszközök

A **tolómérce** (4.27. ábra) beosztást tartalmazó, így méret-megtestesítőként szolgáló mérőlécből, mérőcsőrből és nóniuszból áll. A mérőcsőr egyik szára a mérőléc folytatásaként, a másik a tolókán helyezkedik el. Méréskor a mérőcsőrben helyezkedik el a mérendő tárgy, a méretet a mérőlécen a nóniusz segítségével olvassuk le.

A **mikrométer** (4.28. ábra) mérőorsója 0,5 vagy 1 mm-es menetemelkedésű köszörült nagypontosságú csavarmenet. Az orsóhüvelyen lévő hosszanti osztás 1mm-es, a mérődobon lévő körosztás (keresztirányú osztás) 50-szeres, vagy 100-szoros. A mérődobállás leolvasását jelzővonal segíti. Ismert fajtái: a beépített, a kengyeles, a finomtapintós, a mélységmérő, a menetmérő, a fogmérő, a falvastagságmérő, és a huzalmérő mikrométer.

A **mérőóra** (4.29. ábra) tapitójának - a mért mérettel azonos nagyságú - kitérését fogaskerék fogasléc áttétel a mutató forgó mozgásává alakítja. A mért érték körskálán olvasható le, század, vagy ezred mm pontossággal.



4.29. ábra. Mérőóra
1 tapintócsúcs; 2 mérőcsap; 3 fogaskerék rendszer; 4 mutató; 5 beosztás; 6 tekercsrugó; 7 vonórugó

A **finomtapintók** (4.5.. táblázat) kis mérési tartományú (max. 1mm, de inkább néhány tized mm), nagy érzékenységű (1μm és annál kisebb érték kimutatása) igen megbízható mérőeszközök.

A finomtapintó - a hosszméretváltozás érzékelési módszerétől függően - lehet mechanikai, optikai, villamos és pneumatikus elven működő.

A mechanikus elven működő finomtapintó emelőkaros áttételeket, a villamos elvű finomtapintó villamos, mágneses építőelemeket és járulékos elemeket tartalmaz a mérőtapintó elmozdulásának kinagyítására és skálán való megjelenítésére. Az optikai finomtapintók közül ma már leginkább csak az **optiméterek**, **ultraoptiméterek, és optikátorok** találhatók meg. Közös jellemzőjük, hogy vagy a skálát vetítik matt üvegre, vagy az átlátszó skálára fényvonalat vetítenek. Kevés mechanikus elemet tartalmaznak, érzékenységükhöz viszonyítva pontosságuk nagy. A pneumatikus elven működő **finomtapintók** aerodinamikai, aerosztatikai elvek alapján működnek. A mérőórák, finomtapintók nem tartalmaznak méretmegtestesítőket, ezért skáláikat mérőhasábok és szinuszvonalzó segítségével kalibrálják.

A pneumatikus hosszmérő eszközök egyszerűségükkel tűnnek ki, könnyen kezelhetők és karbantarthatók. Ezen felül igen nagy a feloldóképességük és igen nagy a megvalósítható áttételük. Jól alkalmazhatók azonos jellegű tárgyak összehasonlító mérésére, de abszolút mérésekre általában nem alkalmasak.

Nagyobb pontosságú különbségmérésekhez, vagy nagyobb távolságok közvetlen méréséhez alkalmazhatók a bonyolultabb, mechanikai- optikai elven működő egykoordinátás mérőműszerek, mint pl. az interferenciás finomtapintó, vagy a mérőgépek. A nagyobb távolságok közvetlen mérésére is alkalmas egykoordinátás mérőgépek közül az **Abbe - féle hosszmérőt** (4.5. táblázat) említhetjük meg, amely mérés során az **Abbe - féle elvet** valósítja meg.

Abbe - elv: annak érdekében, hogy az elsőrendű, billenésből eredő mérési hibát kiküszöböljük, a mérendő darabot és a méretmegtestesítőt egy vonalban a mérés irányvonalában kell elhelyezni.

4.6.2. Kétkoordinátás mérőműszerek

A kétkoordinátás mérőeszközök olyan hosszúság- és szögmérő eszközök, amelyekkel bonyolultabb feladatok végezhetők el anélkül, hogy a mérendő tárgy befogását két egymásra merőleges koordináta irányában végre kellene hajtani.

Megkülönböztetünk **mérőmikroszkópot, mérőprojektort és kétkoordinátás mérőgépet. A mérőmikroszkópok** laboratóriumi feladatokat is ellátni képes változata a **projekciós műhelymikroszkóp** és az **univerzális mérőmikroszkóp.**

A hosszméréstechnikában általában használatos **mikroszkópok** fő egységei az alábbiak:

- optikai rendszer (célmikroszkóp és megvilágítás),
- állványzat (test és oszlop),
- tárgytartó asztal,
- kereszt- és hosszszán,
- mérce, mely lehet mikrométer, vagy optikai leolvasóberendezés (Abbe)

A mérendő tárgyat asztalon vagy csúcsok közé fogják fel, a letapintás optikailag vagy mechanikusan történik. A mérés során a mérendő tárgyat felfogó szerkezetet, a mikroszkópot vagy a tapintó berendezést a mindenkori mérési koordináta irányában a beépített mércékhez viszonyítva eltolják. Az eltolás a mérendő hossznak felel meg, és a mércén mint a kezdeti és végállapot közötti különbség határozható meg. A leolvasási kényelem növelésére a mérőmikroszkópot ma már egyre gyakrabban digitális adatkijelzővel és belső nullázási lehetőséggel szerelik fel.

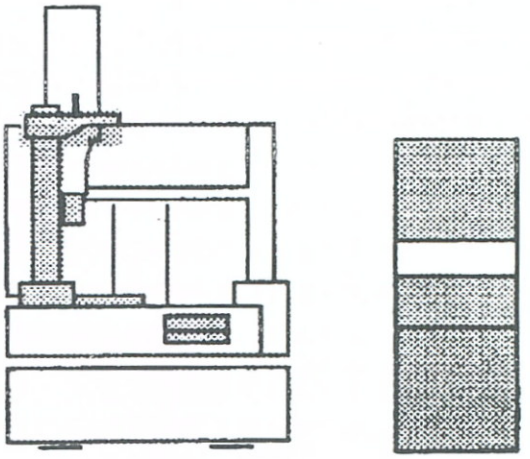
A **mérőprojektor** olyan optikai vetítő mérőberendezés, amely a mérendő tárgyat 10-, 20-, vagy 50-szeres nagyításban, áthaladó vagy ráeső fény segítségével egy sík ernyőre képezi le.A mérés a projektor asztalon elhelyezett jel (jelek) és az asztalt mozgató mikrométerek segítségével történik A mérőprojektor felépítése és kezelése a mérőasztal síkjában azonos a mérőmikroszkópéval.

A **kétkoordinátás mérőgépek** az univerzális mérőmikroszkópok továbbfejlesztett változatai. Mérceként osztásos skálát, mérőhasábkombinációt vagy nagypontosságú mérőorsós áttételt alkalmaznak. A mérési eredmények felvétele optikai vagy elektronikus úton történhet. Fokozott pontosságú vezetéket csapágyakat hajtásokat alkalmaznak a mérendő tárgy, ill. a mérőtapintók mozgatására. Az új kétkoordinátás mérőműszerek

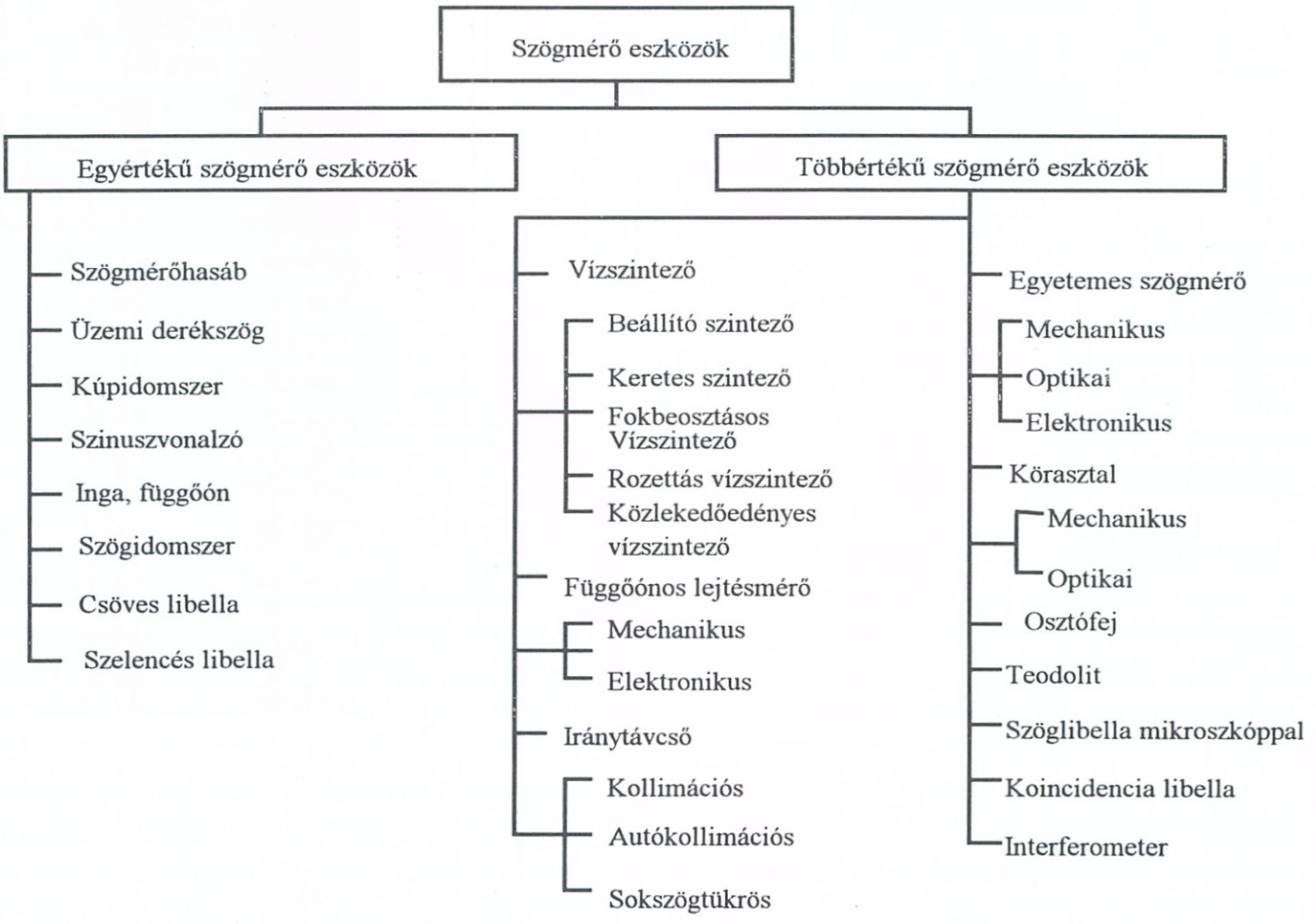
digitális kijelzéssel, adatkimenettel, adatfedolgozási, kiértékelési lehetőséggel is rendelkeznek.

4.6.3. Háromkoordinátás mérőeszközök

A háromkoordinátás mérőgépek olyan hossz- és szögmérő műszerek amelyekkel a tárgyon bonyolult mérési feladatok hajthatók végre anélkül, hogy azt a három koordináta szerinti irányba külön - külön be kellene állítani. A háromkoordinátás mérőgépek kialakítása a fejlettségi szint, a hardver kiépítettség, a szoftver ellátottság függvényében igen sokféle lehet. A háromkoordinátás mérőgépek elvi felépítése a 4.30. ábrán látható.



4.31. ábra. Háromkoordinátás mérőgépek elvi felépítése
1 mérőgép; vezérlőszekrény



4.6. táblázat. Szögmérő eszközök osztályozása

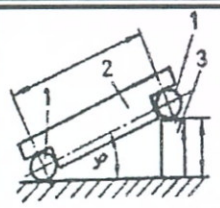
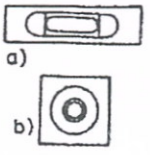
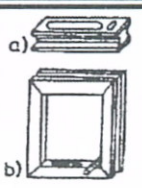
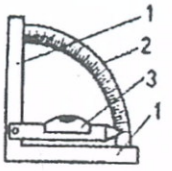
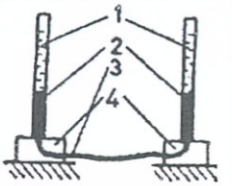
4.6.4. Szögmérőeszközök

A szögmérő eszközök osztályozása, áttekintése a 4.6. táblázatban, az egyértékű szögmérőeszközök magyarázó ábrával ellátott rövid leírása a 4.7. táblázatban található.

Egyértékű szögmérőeszközök

Az egyértékű szögmérő eszközök a vízszintestől való eltéréseknek valamint szerszámok, készülékek nagyobb szögeinek meghatározására alkalmasak.

A **szögmértékek** (4.3. táblázat) közül a kereskedelmi gyakorlatban a **90°-os acélderékszög** és a **szögmérőhasáb készlet** fordul elő. A szögmérőhasáb leppelt mérőfelületei egy-egy adott szöget testesítenek meg, a mérőhasábokhoz hasonlóan itt is különféle kombináció rakható össze.

Jellemzők	Színuszvonalzó	Libella	Vizszintező	Fokbeosztásos vizszintező	Közlekedőedé-nyes vizszintező
Építési elv					
Jelölések	1 támasztógörgők 2 szinuszvonalzó 3 mérőhasáb	a) csöves libella b) szelencés libella	a) beállító szintező b) keretes szintező	1 szár 2 beosztott körív 3 csöves libella	1 üvegcső 2 folyadék 3 összekötő cső 4 felfekvő részek
Előnyök	Tetszés szerinti szög pontos leképezése, sok alkalmazási változat	Síkok és tengelyek gyors vízszintbe állítása	Egyszerű kezelhetőség, nagy mérési tartomány	Nagy mérési tartomány, robusztus felépítés	Mérés nagy távolságban, villamos kimenőjel is előállítható
Hátrányok	Nagy számítási munka, kombinációs mérés	Közvetlen szögmérés nem lehetséges	Dőlés lehetséges, hőmérséklet érzékenység	Hőmérséklet-érzékenység, egytengelyű-ségtől való eltérés fennállhat	Alkalmazása bonyolult
Alkalmazás	Szög és kúposság mérése	Vízszintes egyenesek és síkok etalonja	Gépek és tengelyek víz-szintesbe állí-tása, szögmérés	Lejtési szögek mérése	Gépelemek vízszintesbe állítása

4.7. táblázat. Szinuszvonalzó, lejtési szög- és iránymérők

A **szinuszvonalzó** (4.7. táblázat) beállítható szögidomszer, amely mérőhasábból, a szinuszvonalzóból és két azonos átmérőjű támasztóhengerből áll. A **libellák** (4.7. táblázat) egyenes vonalak, síkok vízszintbe állítására alkalmasak.

Felhasznált irodalom:

[1.] Tadeusz Dobrzanski: Munkadarabbefogó készülékek a gépgyártásban, Műszaki Kiadó, Budapest, 1977.
[2.] Sztankó Lajos: Elemekből összeállítható készülékek, Műszaki Kiadó, Budapest, 1967.
[3] Bali János: Forgácsolás, Tankönyvkiadó, 1985
[4] W. König : Fertigungsverfahren Band 1 VDI Verlag, Düsseldorf, 1990.
[5.] Hiram E. Grant: Munkadarabbefogó készülékek, Példatár, Műszaki Kiadó, Budapest, 1970.
[6.] Serope Kalpakian: Manufactury Process for Engineering Materials Adoliran-Wesler, Chicago 1991
[7] Percze József: Idomszerszerkesztés. Tankönyvkiadó, Budapest, 1973. J4-814
[8] Dr. Szilágyi László: Gépipari hosszmérések. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1982.
[9] Dr. Kaposvári Zoltán: Ipari mérések. Tankönykiadó, Budapest, 1977.
[10] Dr.Dietrich Hofmann: Az ipari méréstechnika. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1982

5. SZERSZÁMGÉPEK ÉS ROBOTOK IRÁNYÍTÁSA ÉS PROGRAMOZÁSA

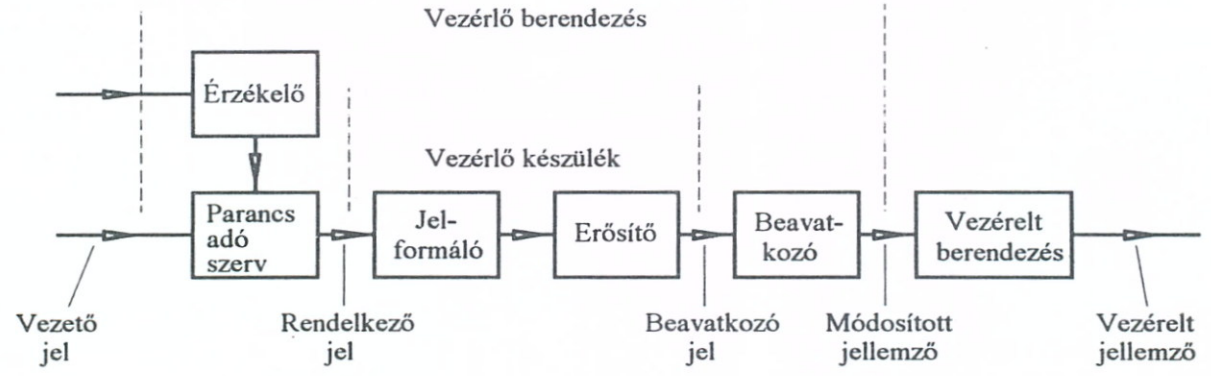
5.1. Irányítás (vezérlés, szabályozás)

Gyártási folyamatok automatizálásának az alábbi céljai lehetnek:

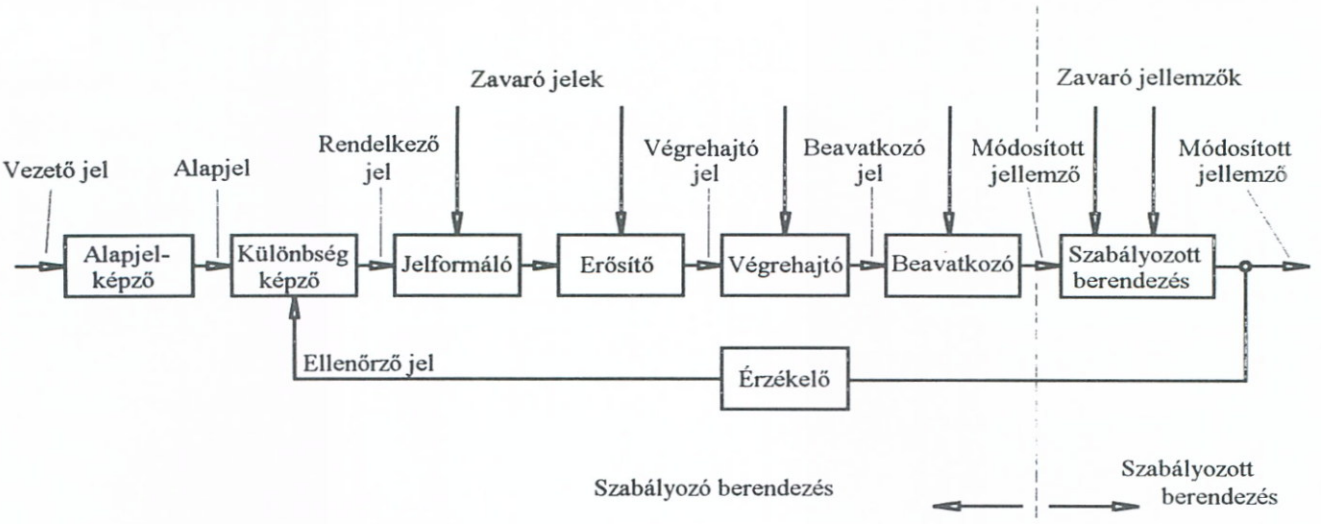
- gyors, az emberi reakcióidőnél gyorsabb beavatkozást igénylő folyamatok automatikus irányítása, (pl. szerszámok pályamenti gyors, pontos mozgatása),
- bonyolult, nehezen átlátható rendszerek irányítása, (termelésirányítás),
- egyszerűbb folyamatoknál a tévedés kizárása, a minőség biztosítása, veszélyes helyeken az emberi egészség védelme.

A gyártási folyamat irányításának szintjei az egyszerű anyagleválasztás irányításától a gyártórendszerek irányításáig terjednek. E fejezetben csak a szerszámgépek és robotok irányításával foglalkozunk.

Az irányítás két típusát különböztetjük meg aszerint, hogy a rendszer hatáslánca nyitott vagy zárt, visszacsatolt. Vezérlések esetén (5.1. ábra) a hatáslánc nyitott, és a kiadott rendelkezőjelre nem hat vissza a vezérelt jellemző (jel). A hatáslánc megbízható tagokból áll és nincs szükség a vezérelt jellemző ellenőrzésére. Szabályozásoknál (5.2. ábra) a szabályozott jellemző értékét egy ellenőrző szerv figyeli és eltérés esetén a rendelkezőjelet megváltoztatja. Szerszámgép és robot vezérlésekben a szabályzó körök és vezérlések serege működik, ezek egymással kapcsolódnak, alá- és fölérendeltségi viszonyban vannak. A legmagasabb hierarchiai szinten a vezérlések állnak, ezért beszélünk szerszámgép- és robotvezérlésekről, holott sok szabályozókör is működhet bennük a legmagasabbszintű vezérlésnek alárendelve.



5.1. ábra: Vezérlés hatáslánca



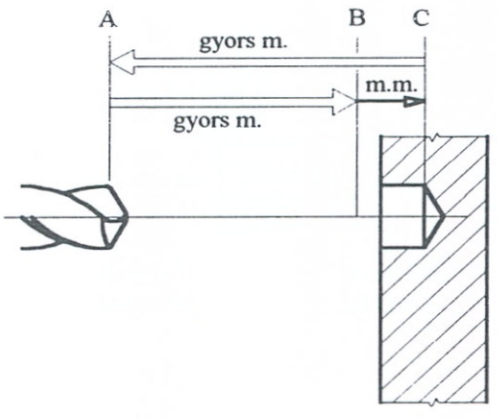
5.2. ábra: A szabályozási kör szervei és jelei

Több funkció között az alábbi három alapfeladatot minden szerszámgép- és robotvezérlésnek meg kell oldania. Ezek:

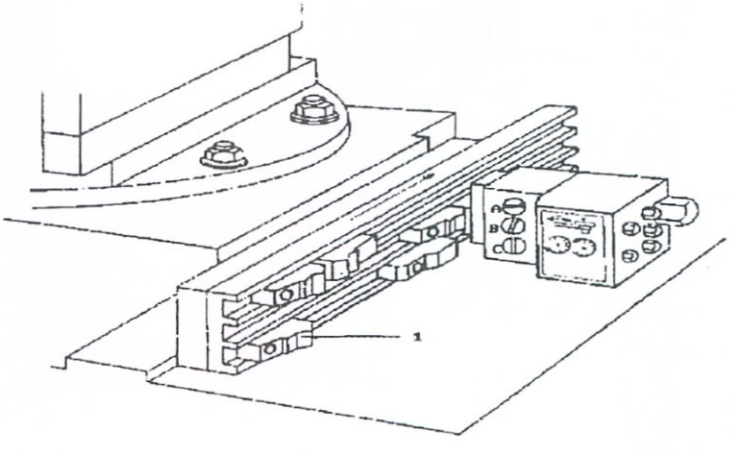
a. előírt mozgássebességek biztosítása,
b. pontos pozicionálás,
c. mozgásszekvenciák biztosítása.

A fenti három feladat megoldását vizsgáljuk meg egy ciklusvezérlésű szerszámgép egyszerű példáján. A megvalósítani kívánt fúróciklus mozgásvázlatát az 5.3. ábra mutatja.

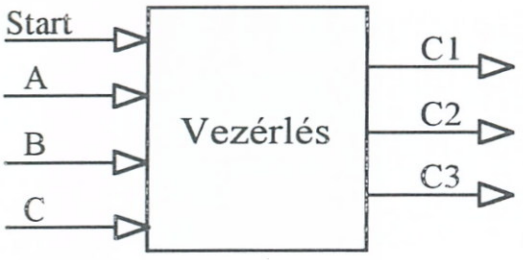
A ciklus két gyorsmeneti és egy munkameneti szakaszból áll. A mozgások kezdő- és végpontjait (A, B, C pontok) ütközők beállításával jelöljük ki. (5.4 ábra) Az ütközők a szerszámgépasztal hornyaiban beállíthatók és a szán mozgásakor működtetik az A, B és C mikrokapcsolókat. A szánt aszinkron motorok hajtják tengelykapcsolókon és hajtóművön keresztül. A c1, c2 és c3 relék választják ki a gyorsmeneteket és a munkamenetet. A vezérlés feladata az A, B, C és START bemenő jelek alapján a c1, c2, c3 kimenőjelek generálása.



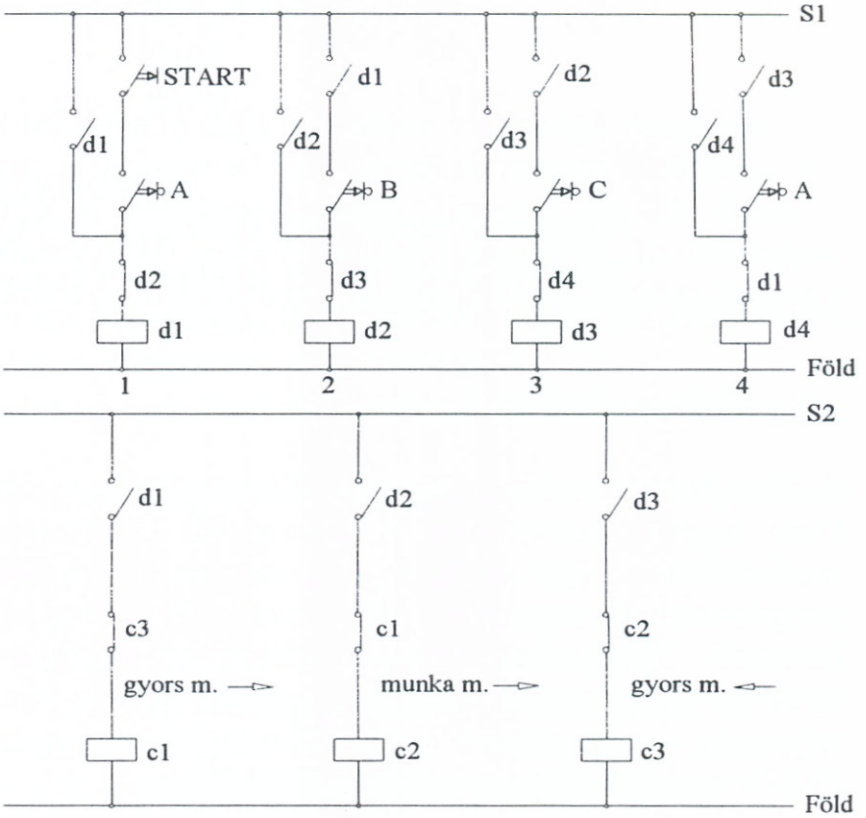
5.3. ábra: Fúróciklus



5.4. ábra: Ütközős vezérlőléc



5.5. ábra: A vezérlés blokkvázlata



5.6.ábra: Létra diagram

A vezérlés blokkvázlatát a 5.5 ábra mutatja. A vezérlés típusa lefutó vezérlés, mert a mozgások sorrendje kötött és a következő mozgásszakasz indításának feltétele az előző mozgásszakasz befejeződése. Egy lehetséges relés megvalósítást a 5.6. ábra létra-diagramja mutat. A relék összehuzalozása fix és feladat-specifikus. Az ehhez hasonló vezérléseket fix-logikájú vezérléseknek nevezzük, szemben a programozható logikájú vezérlésekkel (Programmable Logical Controller - rövidítve: PLC lásd 5.2.1 fejezet). Összefoglalva: a pozicionálást ütközők és mikrokapcsolók, a sebességeket áttételek és a mozgásszekvenciákat relés lánc biztosította a fenti példában.

Szerszámgép- és robotvezérlések fejlettebb típusainál (NC) minden információt, így az útinformációkat is programból lehet megadni számjegyes formában,ezért átprogramozásuk sokkal rugalmasabb. A pontos pozicionálást és sebesség-meghatározást szabályozott szervohajtások, esetleg léptetőmotorok biztosítják. (lásd 5.2.2. fejezet).

Az automatizálás magasabb szintjén a szerszámgép irányítórendszere figyelembe veszi a forgácsolási folyamat jellegzetességeit is, és valamely célfüggvény szerint módosítja a szerszámgépszánok mozgásait. (A forgácsolási folyamat adaptív irányításával az 5.7. fejezet foglalkozik).

5.2. Szerszámgép- és robotvezérlések jellegzetes szerkezeti egységei

A vezérlések fejlesztése során kialakult néhány jól bevált, önálló funkcióval rendelkező, NC specifikus szerkezeti egység illetve megoldás, amelyek mai vezérléseink többségének is építő elemeit képezik. Megismerésükkel a teljes vezérlés működését könnyebben megérthetjük. A fentiek közül a teljesség igénye nélkül a PLC-ket, a szervóhajtásokat és a mozgáspályák ponjait számító interpolátorokat emelhetjük ki.

5.2.1 Programozható logikájú vezérlők

A PLC-k olyan univerzális vezérlőberendezések, amelyekben a bemenő és kimenőjelek közti logikai kapcsolatot a felhasználó programja határozza meg, ezért a hardver módosítására nincs szükség, a vezérlések tipizálhatók és sorozatban gyárthatók. A programozható vezérlőket (PLC) eredetileg a régi relés vezérlések kiváltására tervezték a korszerű félvezetőtechnológia előnyeinek felhasználásával. Ennek emlékét őrzi a vezérlők programozási nyelve is, amely a relés létrahálózat leképzésén alapul. Az idők folyamán természetesen magasabbszintű programozási nyelveket is kifejlesztettek és a PLC-k teljesítőképessége is sokat fejlődött.
Programozási példaként készítsük el az egyszerű fúróciklus (5.3.ábra) PLC programját. A fúróciklus létradiagramját az 5.6. ábra mutatja. A létradiagramon a relék (d1, d2, d3, d4, c1, c2, c3) nyugalmi (árammentes) állapotban vannak ábrázolva, záró és bontó érintkezőik a relék saját neveivel vannak jelölve.
A relék két funkcionális csoportba sorolhatók. A c1, c2, c3 erősáramú relék (mágneskapcsolók) és a d1, d2, d3, d4 relékből álló logikai egység. Az erősáramú relék a szánmozgatás aszinkron motorjait (a rajzon nincsenek feltüntetve) kapcsolják és másodlagos reteszelési feladatokat látnak el. Vezérlő jelüket a d1, d2, d3 relék záró érintkezőitől kapják.
A d1, d2, d3, d4 logikai egység tulajdonképpen egy öntartó relékből felépített léptető lánc, melyben a léptetés iránya kötött. A léptető jeleket az A, B, C mikrokapcsolók jele adja. Indításkor a szán az A pontban áll. A START jel megérkezésekor meghúz a d1 relé és zárva marad az A jel megszünte után is, mert a d1 relé saját záró érintkezője a párhuzamos ágban biztosítja az áramot. A d1 relé kikapcsolását a d2 bontó érintkező végzi, amikor a B jel hatására meghúz a d2 relé. A d2 relé meghúzásának feltétele az, hogy működését a d1 működése előzze meg (azaz munkamenet előtt legyen gyorsmenet). Ezt a feltételt a B-vel sorbakötött d1 záró érintkező biztosítja. A relés léptető lánc működésének leírása a fentiek alapján folytatható és a PLC program elkészíthető.
Példaként programozzuk az 5.6. ábra létradiagramjának egy részletét az OMRON PLC programozási nyelvén. Vezessük be az alábbi jelöléseket az I/O címekre:

A mikrokapcsoló	→	0000
START nyomógomb	→	0001
B mikrókapcsoló	→	0002

d1 jelfogó és érintkezői → 0100
d2 jelfogó és érintkezői → 0101
d3 jelfogó és érintkezői → 0102

A PLC utasításai közül az alábbiakat használjuk:

LD → egy létrafok leírásának kezdete (veremtár nyitása)
AND → ÉS kapcsolat jelölése (sorbakötött záróérintkezők)
OR →VAGY kapcsolat jelölése (párhuzamosan kötött záróérintkezők)
AND NOT → ÉS kapcsolat (sorbakötött bontóérintkező)
OUT → létrafok lezárása, kimenőjel (a veremtár tartalmának kiírása)

A létradiagramon létrafokonként haladva a megfelelő érintkezők jelölését behelyettesítve kapjuk a PLC programot:

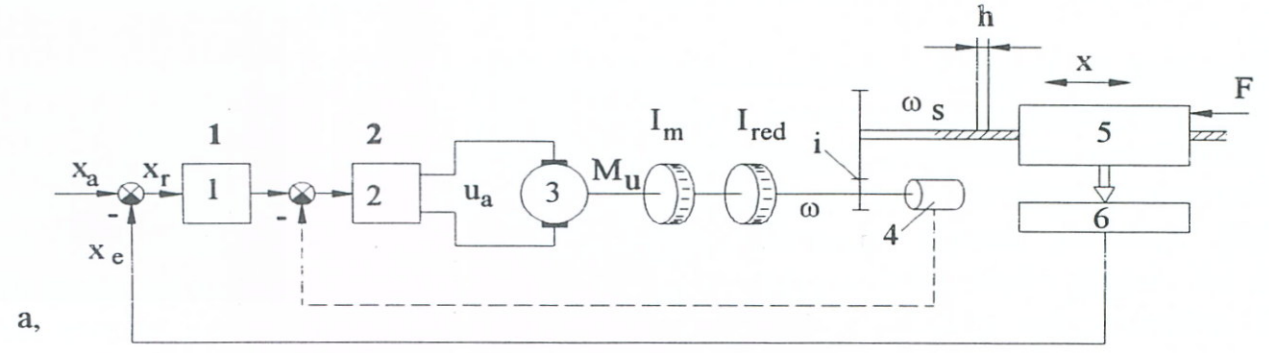
```
LD          0001  - az első létrafok leírásainak kezdete
AND         0000  - a START gombbal sorbakapcsolt A
                    mikrokapcsoló
OR          0100  - az előző blokkal párhuzamosan kapcsolt d1
                    záróérintkező
AND NOT     0101 - a d2 relé sorbakapcsolt bontóérintkezője
OUT         0100  - a d1 reléhez tartozó létrafok lezárása, kimenet
LD          0002  - a második létrafok leírásának kezdete
AND         0100  •
OR          0101  •
AND NOT     0102  •
OUT         0101  •
  •
  •
END               - PLC program vége
```

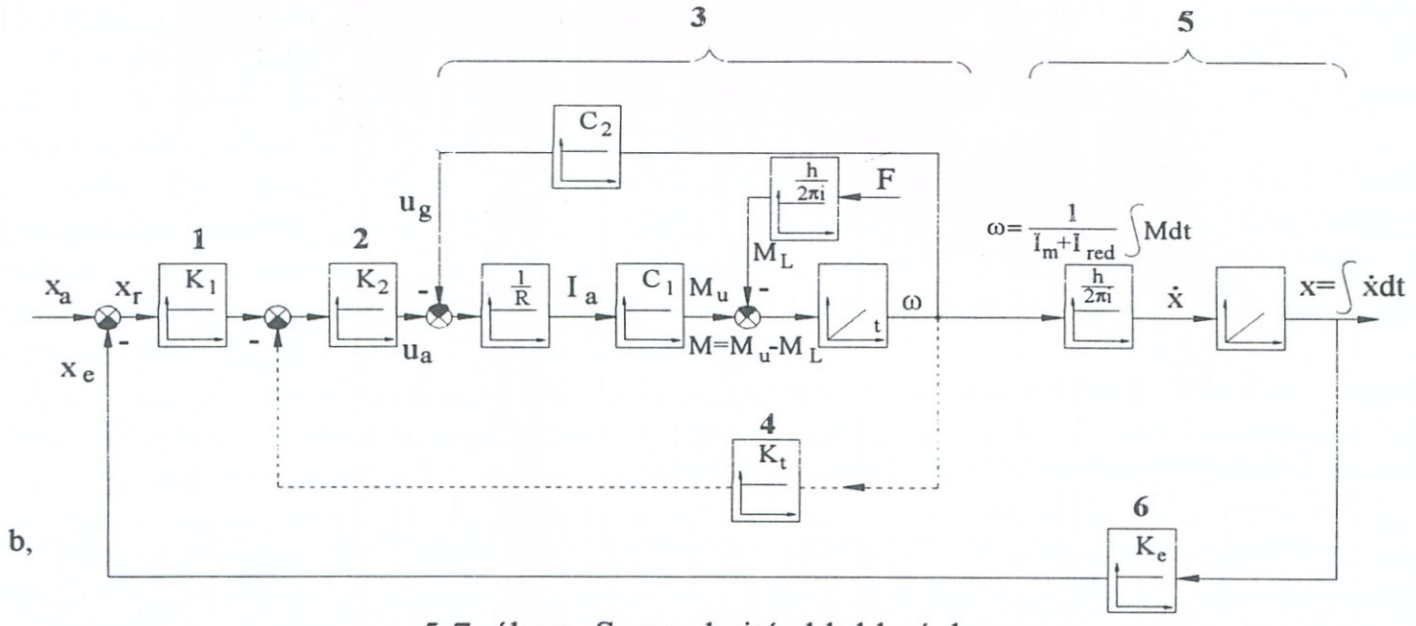
5.2.2. Helyzetszabályzó körök (szervohajtások)

A szerszámgépszánok és robotkarok mozgatását szabályozott villamos hajtások, léptetőmotoros hajtások, ritkábban hidraulikus hajtások végzik. A hajtások bemenő jele út (helyzet) alapjel, kimenőjelük a fizikai értelemben vett elmozdulás ill. elfordulás. A szánok és karok dinamikus mozgatása szigorú követelményeket támaszt a hajtásokkal szemben: pontos alapjelkövetés, nagy gyorsító nyomaték, kis tehetetlenségi nyomaték, és ebből származóan kis időállandók (1-100 ms). A legelterjedtebben alkalmazott szabályozott villamos hajtásokba (szervo hajtások) egyenáramú motorokat, különleges szinkron motorokat, ritkábban aszinkron motorokat építenek be.

Jellegzetes példaként tekintsük át egy egyenáramú szervohajtás felépítését és működését. Az 5.7.ábra felső (a) része a szerkezeti elemek kapcsolatát mutatja be az alsó (b) része a leegyszerűsített szabályozástechnikai blokkvázlatát, amely az egyes tagok átviteli tulajdonságait is jelöli. Az ábrán több egymásba ágyazott visszacsatolási hurok

látható, amelyek közül a legkülső a helyzetmeghatározó kör. Az út alapjel (x_a) és a szánhelyzetét mutató x_e ellenőrzőjel különbsége a rendelkezőjel (x_r). A rendelkezőjel az 1 és 2 szabályozókon és teljesítményerősítőn áthaladva szolgáltatja a szervomotor (3) u_a kapocsfeszültségét. A motor áttételen keresztül hajtja a szánt (5), melynek helyzetét egy mérőrendszer (6) méri és szolgáltatja az ellenőrzőjelet. A motor tengelyére szerelt tachométergenerátor (4) a sebességgel arányos jelet szolgáltat egy belső visszacsatolás részére. A motor forgása ill. a szán mozgása megszűnik, ha a rendelkezőjel zérus értékű, azaz a szán az alapjel által meghatározott pozícióba került. Az 1 és 2 szabályzók helyes beállítása esetén a hajtás jó dinamikával kis időállandóval követi az alapjelet és külső terhelésre alig érzékeny.





5.7. ábra: Szervohajtás blokkvázlata

1. szabályzó; 2 szabályzó és teljesítményerősítő; 3 motor; 4 tachométergenerátor 5 szán; 6 útmérő rendszer; F terhelő erő; h menetemelkedés; i áttétel; I_m a motor forgórész tehetetlenségi nyomatéka; I_{red} a szán redukált tehetetlenségi nyomatéka; R armatúraellenálás; C1 nyomatékerősítés; C2 motorkonstans; K_1 és K_2 erősítési tényező; K_t tachométer állandó; K_e útmérő rendszer állandója
M_L redukált terhelő nyomaték; x_a alapjel; x szánelmozdulás; u_a armatúra feszültség; I_a armatúra áram; u_g ellenelektromotoros feszültség.

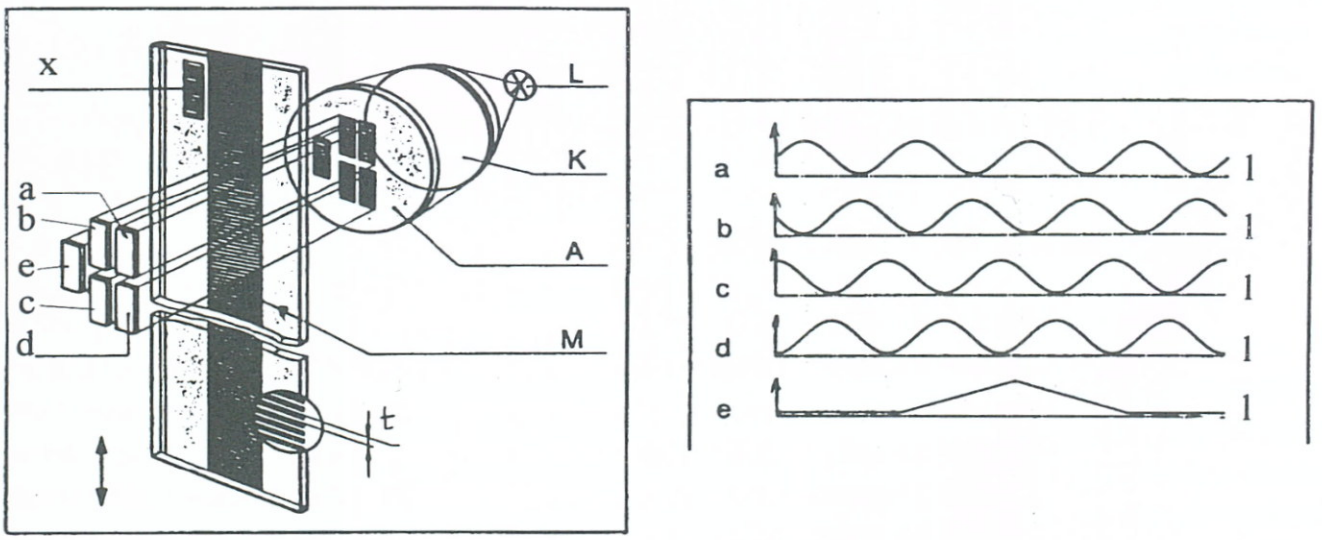
5.2.3. Helyzetszabályozó körök mérőrendszerei

A helyzetszabályzó körök működésének pontossága - ennek megfelelően pl. a munkadarabok mérete - közvetlenül a szabályozás visszacsatolóágában lévő helyzetmérő rendszertől (5.7. ábra 6.számú elem) függ.

Szigorú követelményeket támasztunk a mérőrendszerekkel szemben: nagy felbontóképesség (1 μm ill 0.001 fok vagy ennél jobb), nagy mérési tartomány (>100 mm) gyors működés (<0.1ms), robosztus, megbízható kivitel. A kifejlesztett mérőrendszerek száma nagy, a megvalósításhoz sokféle fizikai elvet és jelenséget felhasználtak. Ismeretesek: a mágneses (Hall-effektus), az elektromos, és az optikai (fényelektromos, laseres, interferometrikus, holografikus) működésű mérőrendszerek. E rendszerek különböznek a mérés elvében is aszerint, hogy az elmozdulást analóg feszültséggé vagy közvetlenül digitális jellé alakítják. Lehetnek fix kitüntetett nullponttal rendelkező un. abszolút mérőrendszerek vagy impulzusok számlásásán alapuló relatív (inkrementális) mérőrendszerek.

Elterjedtségük, egyszerű működésük, és jellegzetes szerkezetük alapján mint tipikus példát az optikai mérőléces inkrementális mérőrendszert mutatjuk be. Egyéb rendszerek leírására bő szakirodalom áll rendelkezésre [2].

A szerkezeti kivitel és a működés az 5.8. ábrán tanulmányozható.



5.8. ábra: Fotóelektromos, inkrementális mérőrendszer vázlata és kimenőjelei. Mérőléc (M), szkennelő tárcsa (A), fényforrás (L), kondenzor lencse (k) leolvasó fotóelemek (a, b, c, d), referenciajel leolvasó fótóelem (e)

Az M álló üveg mérőléc előtt a szerszámgépszánnal együtt mozgó fotóelektromos mérő fej van, amely a következő részekből áll: fényforrás (L), kondenzor lencse (K), négy leolvasó ablakkal és egy referencia ablakkal ellátott szkennelő üvegtárcsa (A), négy leolvasó fotóelem (a, b, c, d) és egy referenciajel leolvasó fotóelem (e). A leolvasó ablakok osztássűrűsége (t) megegyezik a mérőléc (M) osztássűrűségével, de az egyes

ablakok osztásai ablakonként 1/4 t-vel el vannak tolva. A szán mozgása során az elmozdulás (l) függvényében az ábra szerinti módon közel szinuszosan változik a fotóelemekre jutó fényáram és így a fotóelemek árama is. A négy fotóelem jelét négyszögesítve digitális jelfeldolgozás után irányhelyes kimenőjel állítható elő, amelynek felbontása az osztás távolság (t) negyedrészével egyenlő. Pl. 8 μm-es rácsállandóhoz 2μm-es felbontás tartozik, kisebb rácsállandó választása a fény hullámtermészete miatt problematikus. Ha finomabb felbontásra van szükség, akkor a fotóelemek szinuszos jelét numerikus úton feldolgozó többszöröző (exe) beiktatása jelent megoldást. A mérőrendszer kimenőjelét egy előre-hátra számláló fogadja, amelynek kezdeti nullázását az "e" referenciajel végzi.

5.2.4. Interpolátorok

Az interpolátorok alapjelző szervek, melyek valós időben generálják a szerszámgépszánok és robotkarok számára az út ill. elfordulás aljeleket, biztosítva a hajtások közötti kívánt függvénykapcsolatot, szinkronizmust. Az interpolátor alapfeladatai:

a) A megvalósítandó pályagörbe (F(x,y,z)=0) közbenső pontjainak számítása a programozó által megadott néhány bázispont (támaszpont) alapján.
(interpolátió= közéhelyezés, beszúrás (latin eredetű szó)).

b) Az F(x,y,z)=0 implicit függvény felbontása idő paraméteres függvényekre a koordinátáknak (szánoknak) megfelelően.

$$x=f_x(t)\ ,\quad y=f_y(t)\ ,\quad z=f_z(t)$$

c) A fenti feladatok valós idejű, gyors végrehajtása úgy, hogy a mozgás pályamenti sebességének abszolut értéke a megadott (pl.állandó) legyen:

$$|v| = \sqrt{x^2(t) + y^2(t) + z^2(t)} = const.$$

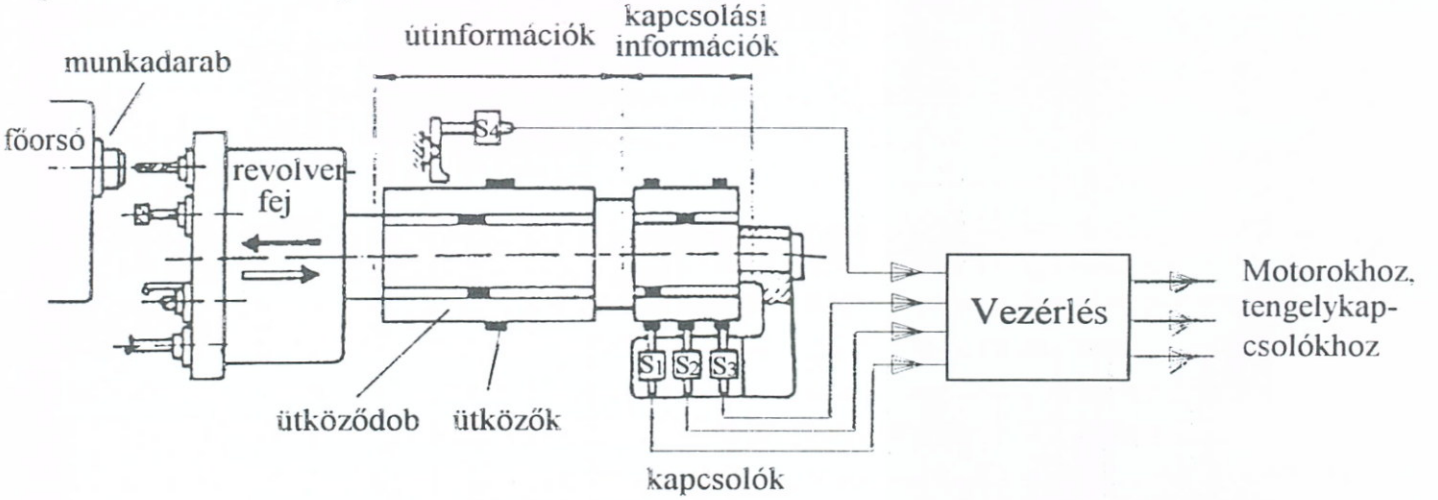
Az interpolátorok a szinkronizált tengelyek számától függően lehetnek két tengelyes, három tengelyes ill. több tengelyes interpolátorok. A szinkronizált tengelyek haladó (transzlációs) vagy forgó (rotációs) mozgást végezhetnek.

A megvalósított függvénykapcsolat szerint beszélhetünk egyenes (lineáris), kör (cirkuláris), parabolikus (pl. spline) interpolációról. Meg kell különböztetni azonban a hajtások tengelyei közti függvény kapcsolatot, a valós térben kialakuló pálya geometriájától (Egy transzlációs és egy rotációs tengely közti lineáris interpoláció a valós térben pl. nem egyenest, hanem archimedeszi spirált eredményez), ezért meg kell mindig mondani, hogy az adott interpoláció a hajtástengelyeire vagy a valós tér koordinátáraira vonatkozik.

Mivel az interpolátoroknak valós időben, nagy sebességgel kell működniük, ezért feladatukat cél hardverrel vagy külön dedikált processzorral oldják meg. Egyszerűsített közelítő számítási algoritmusok segítségével a számítási időt is csökkenteni lehet. Két eljárás terjedt el: a DDA és a kereső lépéses interpolációs algoritmusok.

5.3.Szerszámgépek irányítása

A szerszámgépek automatizálásának gondolata egyidős az első szerszámgépek megjelenésével. Az automatizálás a kezelő szervek központi kezelőhelyre koncentrálásával, a szerkezeti elemek távműködtetésével kezdődött. Ezt a feladatot a kor technikai szintjén mechanikus, elektromechanikus és hidraulikus eszközökkel oldották meg, sok régi ötlet korszerű szerszámgépeinken még ma is alkalmazást nyer. Később a pozicionálást ütközőkre, az előtolási sebességek biztosítását görbetárcsákra bízták, a mozgásszekvenciák (a mozgások egymás utáni sorrendje) meghatározását a vezértengely végezte. Így alakultak ki a mechanikus félautomata és automata szerszámgépeink. Az 5.9. ábra elektromechanikus ütközős vezérlésű dobrevolver esztergát mutat. Az út és kapcsolási információkat a revolverfej dobjának hornyaiba helyezett állítható ütközők adják. Az S1, S2, S3 kapcsolók a főorsófordulatszámát és irányát határozzák meg, az S4 kapcsoló a revolverfej előtolását szakítja meg.



5.9. ábra: Dobrevolver eszterga út- és kapcsolási információi

A mozgási szekvenciák kötöttségét a programozható vezérlések megjelenése oldotta fel. A programozható vezérlések lehetővé teszik, hogy a felhasználó előre rögzített szekvenciák közül válasszon, vagy teljesen szabadon adja meg a mozgások egymásutániságát. A kívánt mozgásszekvenciát a vezérlés dugaszmezejének rácspontjaiba helyezett programozó csapokkal lehet meghatározni, az útinformációk megadása azonban továbbra is ütközők beállításával valósult meg és ez a rugalmas átprogramozhatóság egyik akadálya volt.

Döntő változást hozott a fejlődésben, amikor lehetővé vált az útinformációk diszkrét jelképi formában, kódokban (alfanumerikus karakterek) történő megadása is és ezzel az elszakadás a körülményesen átírható információhordozóktól (ütközősáv, görbetárcsa, sablon). A számjegyes programvezérlések (röviden: NC=Numerical Control) megjelenése nem csak a könnyű átprogramozhatóság miatt jelentett döntő fordulatot, hanem azért is, mert megteremtette a számítógéppel integrált gyártás (számítógépes alkatrész tervezés és programozás, szerszámgépek gyártórendszerbe integrálása és számítógépes irányítása) előfeltételét.

5.3.1. Számjegyes vezérlések (NC)

Az NC-gépek bemenő információjukat az alkatrészprogramból nyerik. Az alkatrészprogram alfanumerikus karakterekből áll, kötött szintaxissal rendelkezik (lásd később), és tartalmazza a szerszámpályák leírásához szükséges geometriai adatokat (út-információk), az előtolási sebességeket és orsó fordulatszámokat, szerszámváltásokat (kapcsolási-információk) valamint a mozgások sorrendjét (szekvenciáit), azaz alkatrészmegmunkálási folyamatának leírását. A program önállóan értelmezhető információs egységekből (pl. mondatok) épül fel, melyeket a vezérlés értelmez és a felírás sorrendjében vagy valamilyen más programozott szabály alapján végrehajt.
Bár a vezérlések különböznek felépítésüket, utasításkészletüket és intelligenciájukat illetően, közös vonásuk azonban, hogy valamilyen szinten rendelkeznek az alábbi funkciókkal:

a) **Program beviteli és tárolási funkció**

A program bevitel lehet:

- kézi
- dialóg alfanumerikus vagy grafikus
- direkt adatbevitel (számítógépről vagy számítógépes hálózatról)
- az előző adatbeviteli módok a megmunkálással egyidőben

b) **Program értelmezési, feldolgozási funkció**

A vezérlés inteligenciájától függően az utasítások lehetnek:

- egyszerű szánmozgatási és szerszámcserélési parancsok geometriai számításokat (pl. pályagenerálás) és transzformációkat segítő parancsok
- megmunkálási ciklusokat és alprogramokat kezelő parancsok
- szerszám leíró parancsok
- mérési utasítások
- a külvilághoz, anyagmozgatáshoz kapcsolódó utasítások.

A program feldolgozása történhet információs egységenként a megmunkálással párhuzamosan (interpreter), vagy a teljes programra kiterjedően a megmunkálást megelőző fordítási fázisban (compiler). Ez utóbbi kevésbé elterjedt és gyors működésű gépeknél előnyös.

c) **Engedélyezési és felügyeleti funkciók**

A szerszámgép bekapcsolásától kezdve állandó felügyelet alatt áll. A vezérlés figyeli a végálláskapcsolókat és a mozgás érzékelők jeleit, olajnyomást, csapágyhőmérsékletet, stb. Meghibásodás vagy rendellenes működés esetén hibajelzést ad, esetleg vészleállást hajt végre. A szánmozgatás, szerszámcsere, munkadarabcsere stb. engedélyhez kötött. A vezérlések több üzemmóddal rendelkezhetnek. Az automatikus vagy programüzemmódban az indítógomb egyszeri működése után az egész alkatrészprogram mondatonként lefut. Félautomatikus vagy mondatonkénti üzemmódban a programot minden egyes mondat lefutása után nyomógombbal újra kell indítani. Kézi üzemmódban

a vezérlési funkciókat kézzel kell bevinni, és ezeket az utasításokat a vezérlés végrehajtja, de nem tárolja. Beállító üzemmódon általában a csökkentett sebességű mondatonkénti üzemet értik.
Üzemmódváltás is csak több feltétel teljesülésekor engedélyezhető. Néhány fontosabb jel:

- üzemelés feltételei rendben, működés engedélyezett
- üzemódváltás engedélyezett
- kézi üzemmód engedélyezett (pl. szánmozgatás kézi kerékkel)
- interpolátor működése engedélyezett

A szerszámgép biztonságának érdekében az engedélyezési funkció hierarchikusan minden más funkció fölé van rendelve.

d) **Alapjel generálása a szerszámgép hajtások részére**
A szánok mozgatásához az idő függvényében változó alapjelekre van szükség, melyet általában egy gyors működésű számító berendezés állít elő (interpolátor). Az interpolátor biztosítja a szánok szinkron mozgatását a programban előírt módon.
Opcionálisan további funkciókkal bővülhet a vezérlés. Ilyen pl:

- az adaptív irányítási funkció, amely a megmunkálás pontosságának javítását ill. a gép optimális működését teszi lehetővé
- DNC funkció, amely a gépek rendszerbe integrálását segíti.

5.3.2. NC vezérlések típusai

Az NC-vezérlések felépítésük szerint két generációba sorolhatók:

- A legrégibb generációjú ún. **hagyományos NC vezérlések**ben az NC funkciókat logikai építő elemek összekapcsolásával oldják meg. A vezérlés tároló regiszterei funkcionálisan felosztottak és az információ feldolgozás párhuzamosan célegységekben folyik.

- A korszerű vezérlések felépítése hasonlít a számítógépek architektúrájára (pl. bus struktúra stb). Egy vagy több mikroprocesszort használnak, a processzorok vagy feldatokra dedikáltak vagy osztott intelligenciájú rendszert alkotnak. A számítógépes architektúrájú rendszereket - megkülönböztetésül a hagyományos NC vezérlésektől - **CNC vezérlések**nek (Computer Numerical Control) nevezzük. Ha e megkülönböztetés nem hangsúlyos, akkor az általánosabb "NC vezérlés" megnevezést használjuk a CNC vezérlésekre is.

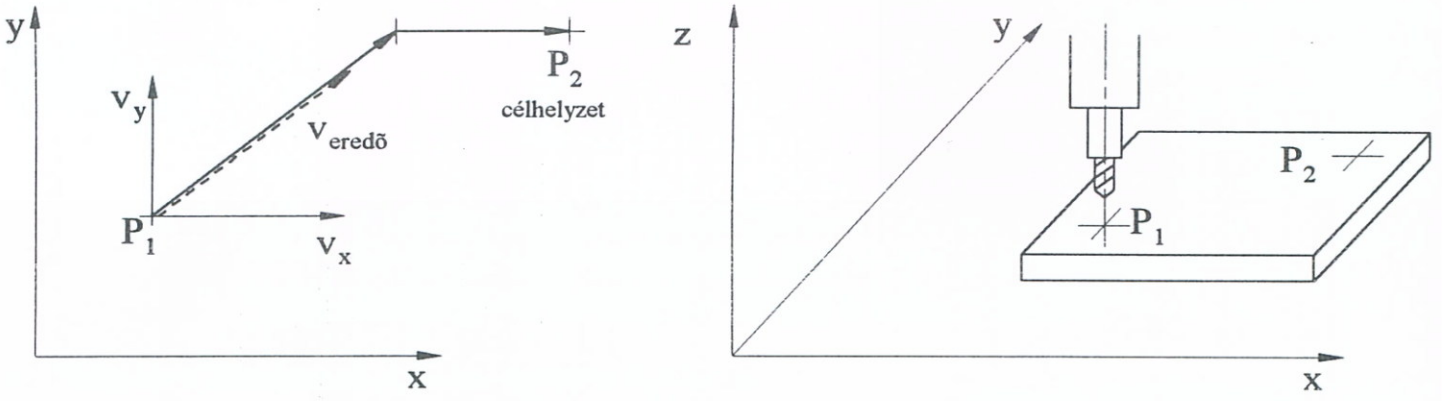
Az egyidejűleg vezérelt tengelyek számától ill. a szánmozgások módjától függően beszélhetünk pont-, szakasz-, és pályavezérlésű gépekről. A terminológia régi eredetű, az osztályozás az NC-vezérlések technológiai képességeire, tudására és szerkezeti bonyolultságára is utal. Az elektrónika fejlődésével a szerkezeti különbségek elmosódnak: a jelenlegi vezérlések túlnyomó része pályavezérlésű.

a) Pontvezérlés

A pontvezérlés (5.10.ábra) esetén a szerszám vezérelt pontját a sík vagy tér előírt pontjára kell mozgatni. A szerszám a pontra állás közben nem végez megmunkálást, a mozgatás sebessége általában gyorsmenet, ami kúszómenettel fejeződhet be. Az egyes irányokban végzett mozgások sebességei között nincs előírt kapcsolat. Pozicionálás után egy kitüntetett irányban történik a megmunkálás (pl. fúrás), ez a kitüntetett tengely nem feltétlenül NC vezérelt.

Alkalmazási területe

- fúrógépek
- ponthegesztő gépek
- sajtoló, kivágó gépek.

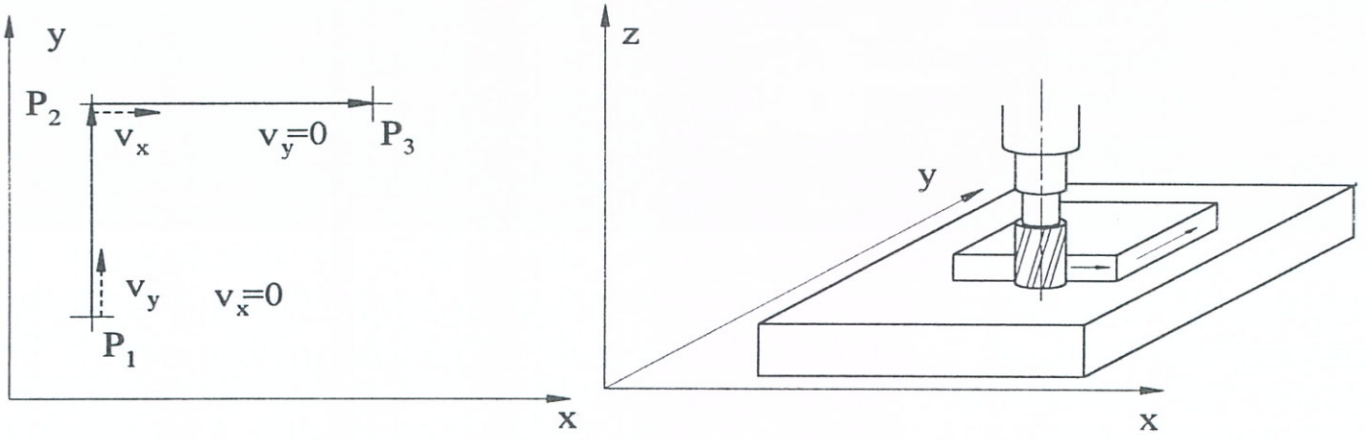


5.10. ábra: Mozgások pontvezérlésnél

b) Szakaszvezérlés

Szakaszvezérlésnél (5.11.ábra) a szerszám bármely kiválasztott koordináta tengellyel párhuzamos elmozdulás közben megmunkálást is végezhet. Egyidőben csak egy koordináta tengely mentén lehet forgácsolást végző elmozdulás (kivétel: 45°-os letörés). A tengelyek sebességei között nem írható elő függvénykapcsolat.

Alkalmazási terület: Egyszerű vállas, lépcsős munkadarabok esztergálása, marása.



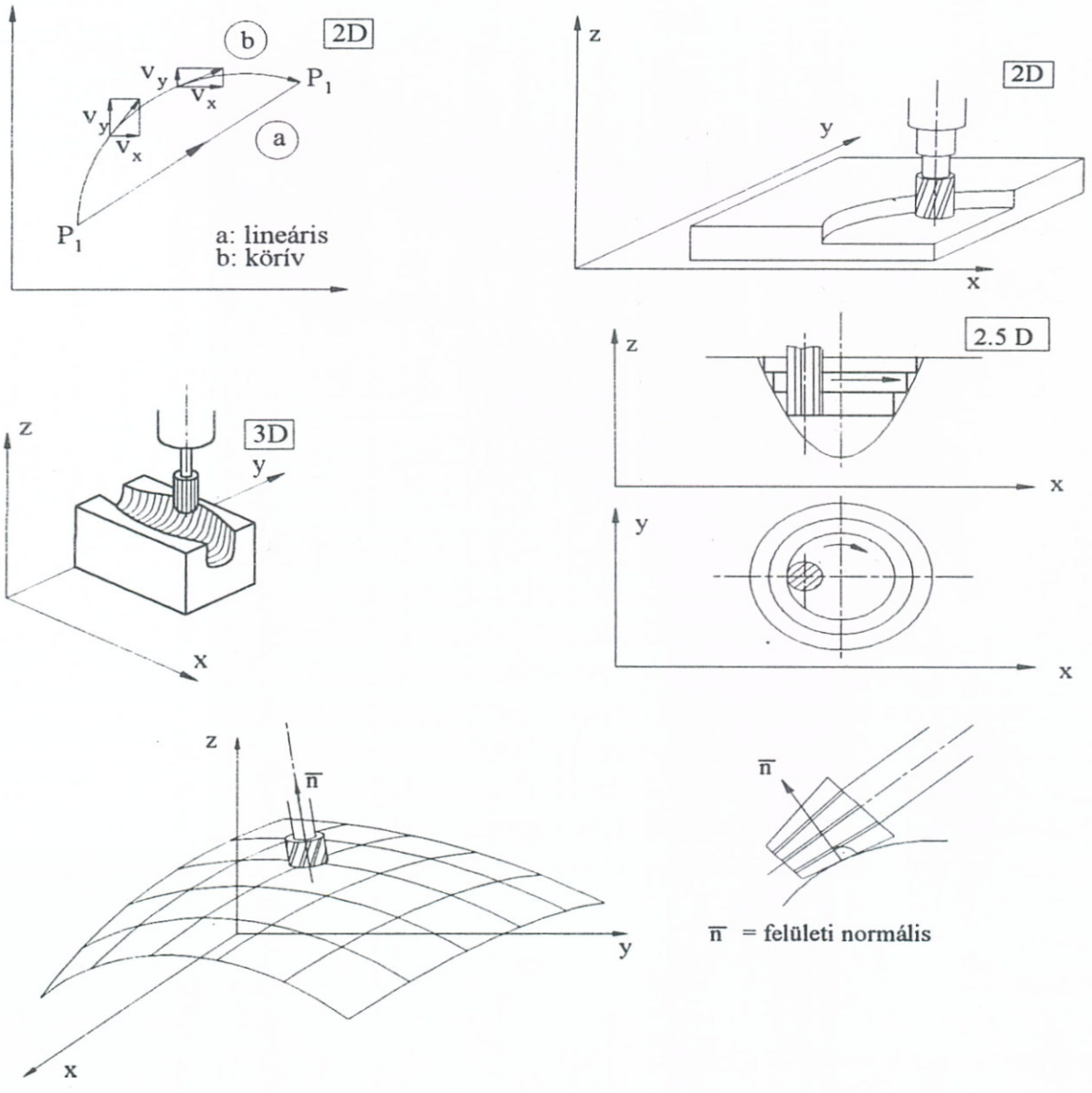
5.11. ábra. Mozgások szakaszvezérlésnél

c) Pályavezérlés

Pályavezérlésnél (5.12. ábra) a szerszám vezérelt pontja az előírt pályán mozog. A pálya sík vagy térgörbe is lehet. Az egyes koordináta tengelyek menti sebességek között különböző függvénykapcsolat valósítható meg az interpolátor segítségével. (Általában a pályamenti sebesség állandóságát biztosítják).

Az egyidejűleg vezérelhető tengelyek száma szerint megkülönböztetünk **2D, 3D, 4D, 5D** stb. vezérlést. (**D**= Dimension). Ha az egyik tengely mentén (pl. "Z" tengely) a vezérlés nem tud a többi mozgással szinkron elmozdulást generálni a kérdéses tengely **1/2 D**-s ("fél dimenziós").

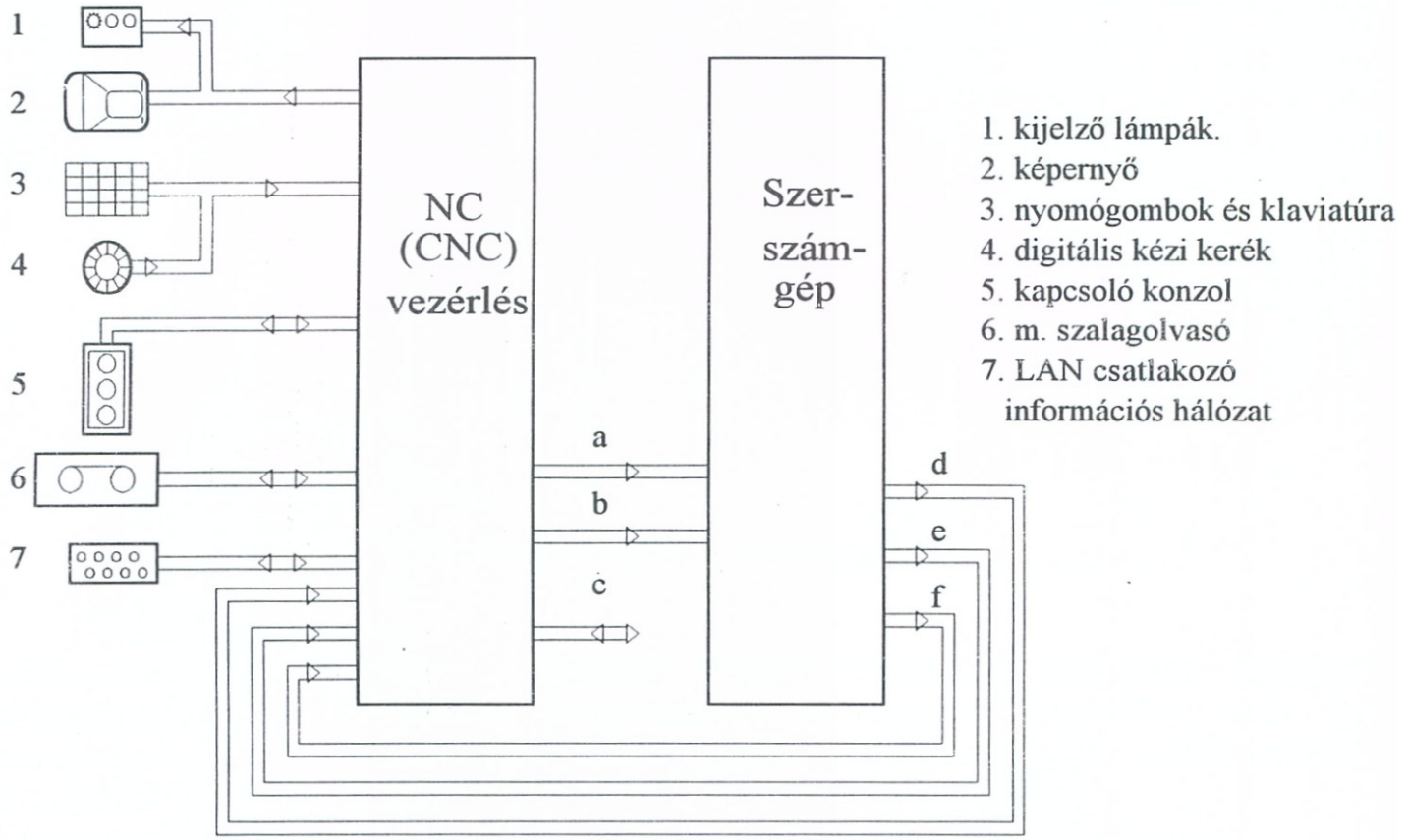
A mozgások geometriai függvénykapcsolatait általában lineáris és körinterpolációra korlátozzák, ezért a vezérlések a körtől, egyenestől eltérő előírt pályát csak egyenes szakaszok és körívek segítségével közelítik meg. Félreértésre adhat okot, hogy nem minden 3-6 tengelyesnek nevezett vezérlés tekinthető 3D-6D-s vezérlésnek. Gyakran a sok tengelyből csak páronként 2 mozgása összehangolt - így lényegében 2D - legfeljebb 2 1/2D (pl. 3-ból 2D) vezérlésről beszélhetünk.



5.12. ábra: Mozgások pályavezérlésnél

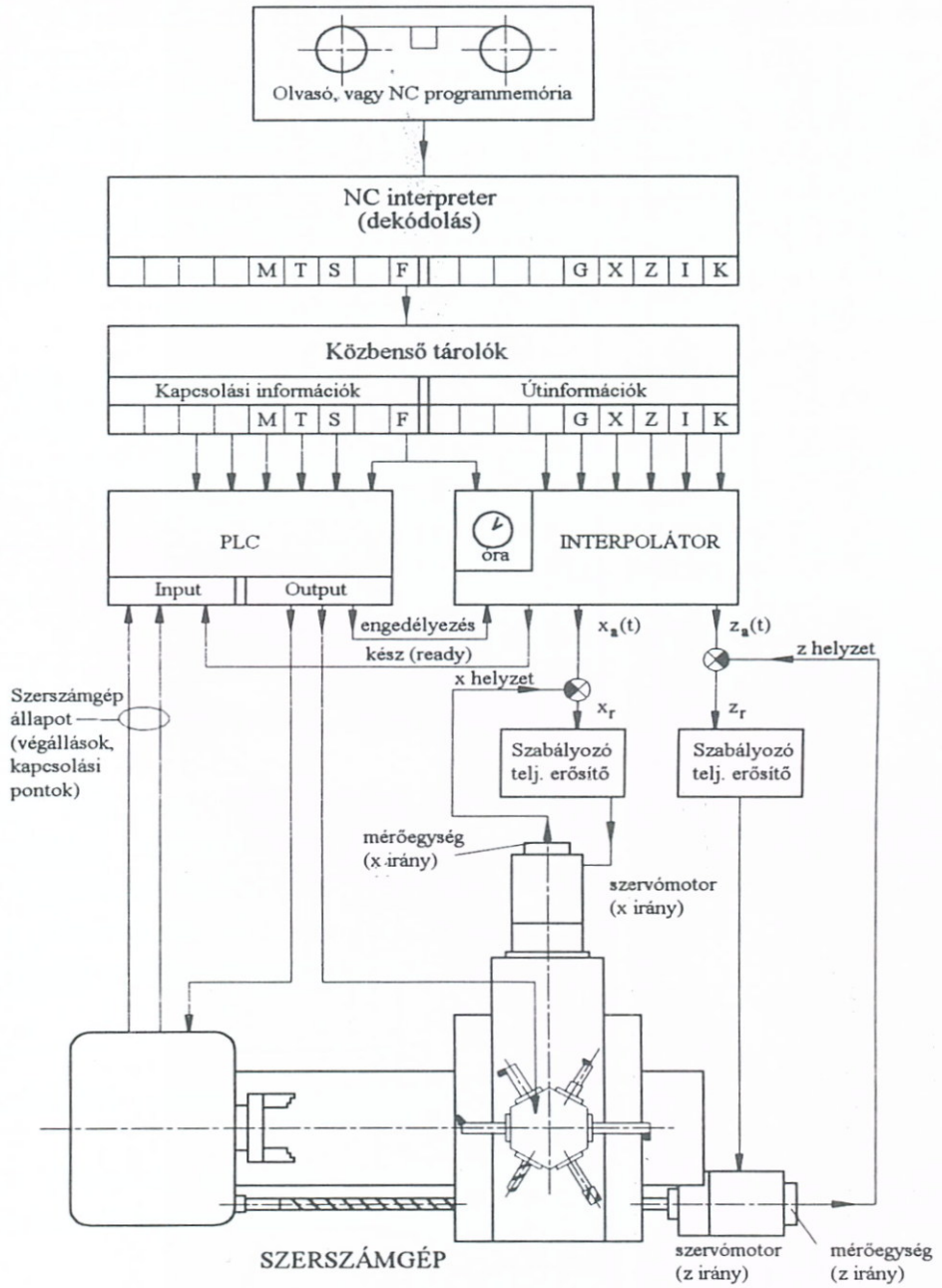
5.3.3. NC (CNC) vzérlések felépítése

Az 5.13. ábra mutatja a vezérlés bemenő és kimenő jeleit. A vezérlés az 1-5 kezelő szerveken tart kapcsolatot az emberrel, ez a vezérlés ember-gép interfésze. A 6. és 7. eszközök a gépi programbevitelt ill. a DNC üzemmódot teszik lehetővé. A vezérlés *a* és *b* kimenő jelcsoportja a szerszámgép működtető jeleit tartalmazza. A *c* jelcsoport tagjai tartanak kapcsolatot külső vezérlésekkel (adagolókkal, robotokkal, NC gépekkel). A szerszámgép nyugtázó jeleit, és a szánok pozícióját a *d, e, f* jelcsoport tartalmazza, melyeket közös néven a szerszámgép állapot vektorának neveznek.



5.13. ábra: Az ember a vezérlés és a gép kapcsolata

A vezérlés és a szerszámgép kapcsolatát, a vezérlés felépítését, működését részletesebben az 5.14. ábra mutatja. Az NC programot az olvasó a vezérlés program memóriájába tölti. Az interpreter információs egységként (itt: NC mondat) dolgozza fel a programot. Ha a program címkódos szerkezetű - amit itt feltételeztük - akkor az értelmezés és az információ szétválasztása út és kapcsolási információkra viszonylag egyszerű. Más bemenő nyelvek esetében szükséges lehet egy belső gépi nyelvre történő előzetes fordítás is. A közbenső tárolókba töltött új információkat a vezérlés interpolátora használja alapjel generálásra (x_a,z_a). Általában lineáris és körinterpoláció programozható. A pályamenti sebességet az interpolátor órájának sebessége határozza meg, ami szintén programozható. Az interpolátor működése engedélyhez kötött. Az interpolált szakasz végén az interpolátor jelt ad a további információ feldolgozásra. A kapcsolási információkat az NC-be integrált PLC dolgozza fel és küldi a szerszámgép felé.



5.14. ábra: NC vezérlés sematikus ábrázolása

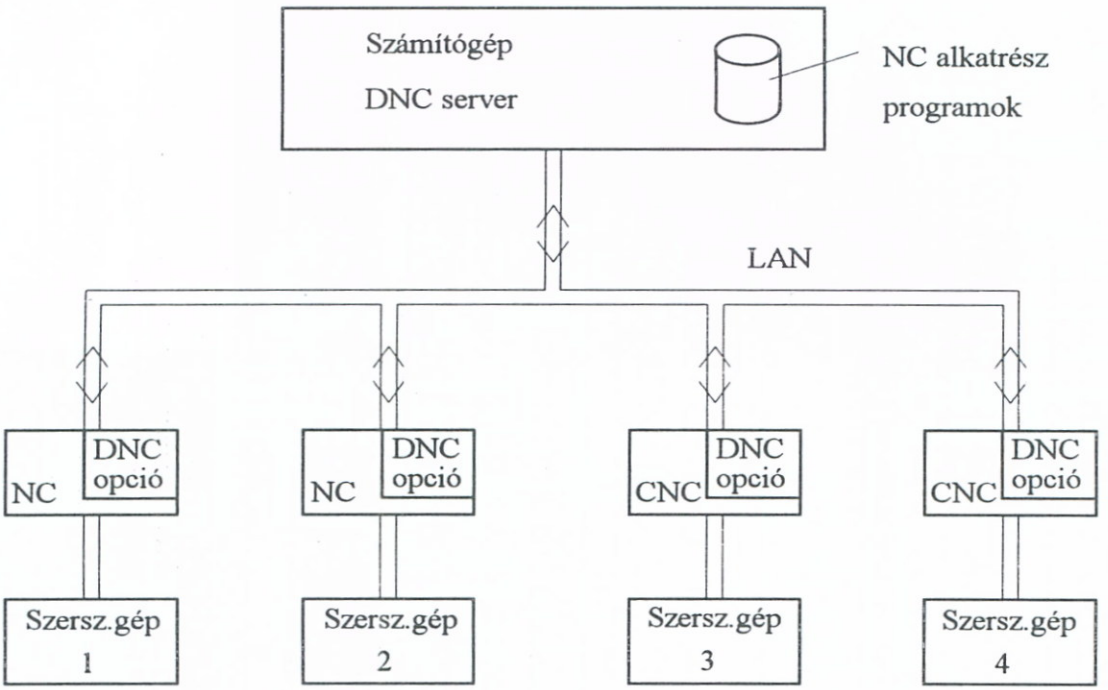
Egyidejűleg ez a PLC felügyeli a bemenetére érkező jelek alapján a szerszámgép zavartalan működését is.

5.3.4. DNC rendszerek

A **DNC** (Direct Numerical Control) olyan irányítási struktúra (lásd 5.15. ábra), amelyben több NC-gépet együttesen egy folyamatirányító számítógép lát el alkatrészprogramokkal (irányítási hierarchia). A DNC rendszerben használt NC vezérlések lehetnek:

a) Csak alap funkciókat teljesítő leegyszerűsített NC vezérlések (MTC=Machine Tool Controler)
b) DNC opcióval ellátott teljes értékű CNC vezérlések.

A DNC lehetővé teszi a többgépes vezérlést, az elektromechanikus információbevitel (lyukszalag) elmarad, és ezáltal a megbízhatóság nő. Az alkatrészprogramok a folyamatirányító számítógép külső memóriájában tárolódnak, amelyeket szükség esetén a szerszámgépek hívnak le. A számítógép így átveszi az elosztóállomás és a puffer tároló feladatát. A számítógépet folyamatirányítási célokra is használhatják, és a munkadarab megmunkálásán kívül az anyagmozgatást is irányíthatja. A számítógép által vezérelt gépellenőrzés, szerszámyilvántartás járulékos előnyökkel is jár a gyártási folyamat szervezésében, különösen a többgépes irányítás megvalósításakor.



5.15: ábra DNC rendszer

5.4. Robotok irányítása

5.4.1. Robotvezérlések típusai:

Felépítésük és mozgásuk meghatározottsága alapján a robotvezérlések az alábbi néhány típusba sorolhatók:

a. A pick and place robotvezérlések (manipulátor vezérlések)

A pick and place robotvezérlések koordinátánként két (esetleg néhány) diszkrét pozícióba vezérelhetők. A mozgások sorrendjét (szekvenciáját) egyszerű vezérlő pl. PLC adja. A pozíciók kijelölése mechanikus ütközőkkel vagy más kétállású szenzorral történik. Programozáskor az ütközők átállítandók és a vezérlés szekvenciája átprogramozandó. Egyszerű feladatokhoz pl. adagolás, rakodás használhatók.

b., Pontvezérlésű robotok

A robot programozott pontja áthalad egy pontsorozattal adott útvonalon, de két szomszédos pont között a pálya csak hozzávetőlegesen ismert, mert a csuklók nincsenek egymással szinkronizálva. A vezérlés az adott pontokból inverz transzformációval kiszámítja a csukló koordinátákat és alapjelként átadja a szervóhajtásoknak végrehajtásra. Programozásuk a pontsorozat megadása útján történik betanítással vagy számítógépes támogatással.

c., Pályavezérlésű robotok

A csuklónként elhelyezett szervohajtások közös órajellel működő alapjelképzőről (interpolátor) kapják alapjelüket, melyet követnek, ezért a tengelyek sebessége egymáshoz szinkronizált és a robot követi az előírt pályát. Ez a legáltalánosabban használható, összetett robotvezérlés. Szereléshez, megmunkáláshoz, hegesztéshez is alkalmasak.

d., Teach-in play-back (lejátszós) robot vezérlés

Lényeges része egy nagy kapacitású információtároló (pl mágneses adathordozó), melyen a betanítás szakaszában felvett csukló koordinátákat tárolja a futó idő függvényében. Egyszerű felépítésű. Nem tartalmaz interpolátort és aritmetikai egységet. Rendszertanilag jelentősen eltér az előző három típustól. Alkalmazási területe festés, csiszolás. A program módosítása körülményes.

5.4.2. Pályavezérlésű robotok vezérlésének felépítése

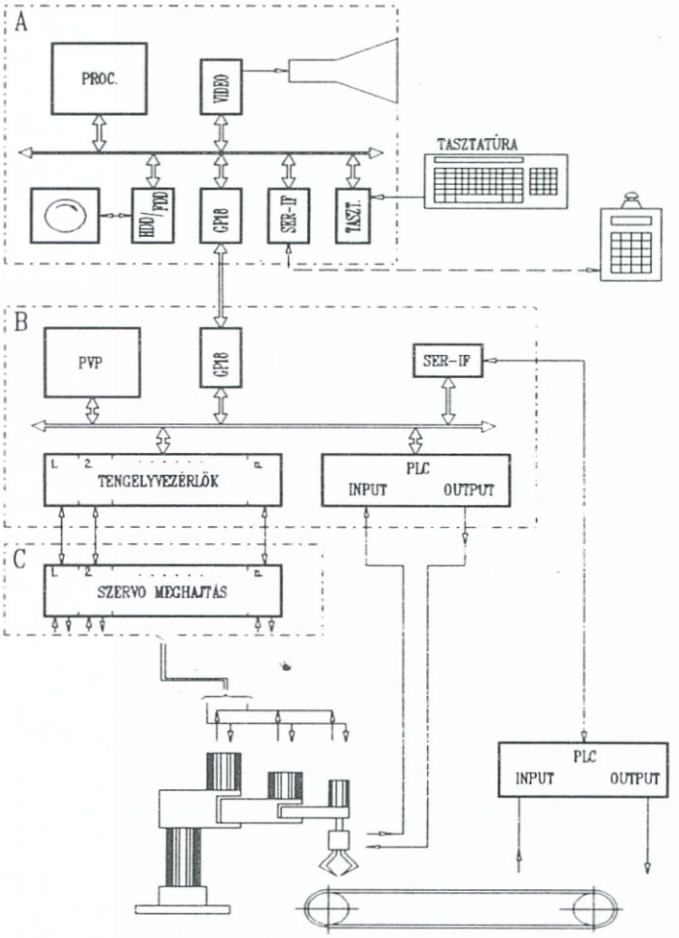
Pályavezérlésű robotok irányító rendszerének egy jellegzetes típusát a 5.16. ábra mutatja. A vezérlés többprocesszoros felépítésű és funkcionálisan három fő részből áll:

a. Bemeneti és kommunikációs egység

Itt történik a felhasználói programok beolvasása, belső ellenőrzése, előfeldolgozása és tárolása. Kezelő felületének kialakítása (nyomógombok, jelzőlámpák, képernyő) és az ezeket kezelő program intelligenciája határozza meg a vezérlés arculatát (az ember-gép interfészt). A program szintaktikai ellenőrzése után a program utasításainak megfejtése és az adatok előfeldolgozása (preprocesszálás) következik. Ezt a feladatot egy interpreter vagy compiler program végzi. Processzálás után a feldolgozott adatokat szabványos interfészen (GPIB) keresztül a központi irányító egységhez küldi.

b. Központi irányító egység

Feladata az előfeldolgozott adatokból azonosidejű (real time) alapjeleket képezni. Itt helyezkedik el az interpolátor, amely a közbülső pontokat folyamatosan számítja. A csukló interpolációra jellemző, hogy két adott pont között a csuklók azonos ideig, de egymástól általában eltérő sebességgel mozognak. Lineáris interpolációnál a vezérelt pont térbeli egyenest ír le. Az interpolátor közös órajele a garancia a csuklók pályamenti szinkron mozgása. A közbülső pontok koordinátáit inverz transzformációval csuklókoordinátákká kell transzformálni és a szervóhajtások felé alapjelként kiadni.



5.16: ábra. Pályavezérlésű robot irányítási rendszere

c. Szervohajtás

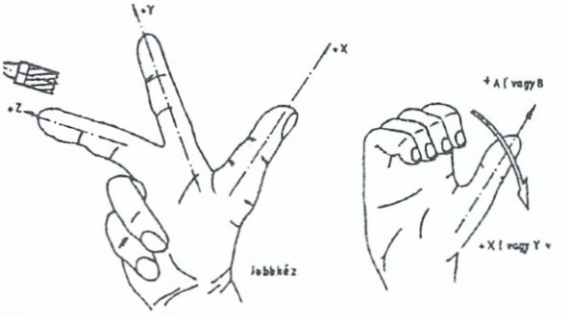
Feladata a folyamatosan érkező alapjeleknek megfelelő csukló mozgások végrehajtása. Általában tengelyenként külön processzor végzi a szabályozást, a hajtások dinamikájának illesztését a változó terheléshez.

5.5. NC szerszámgépek programozása

5.5.1. Koordináta-rendszerek, koordináta-rendszer transzformációk

A munkadarabok geometriai alakját minden szerszámgép esetén a munkadarab és a különféle szerszámok relatív elmozdulása, a szerszámok geometriai kialakítása határozza meg.

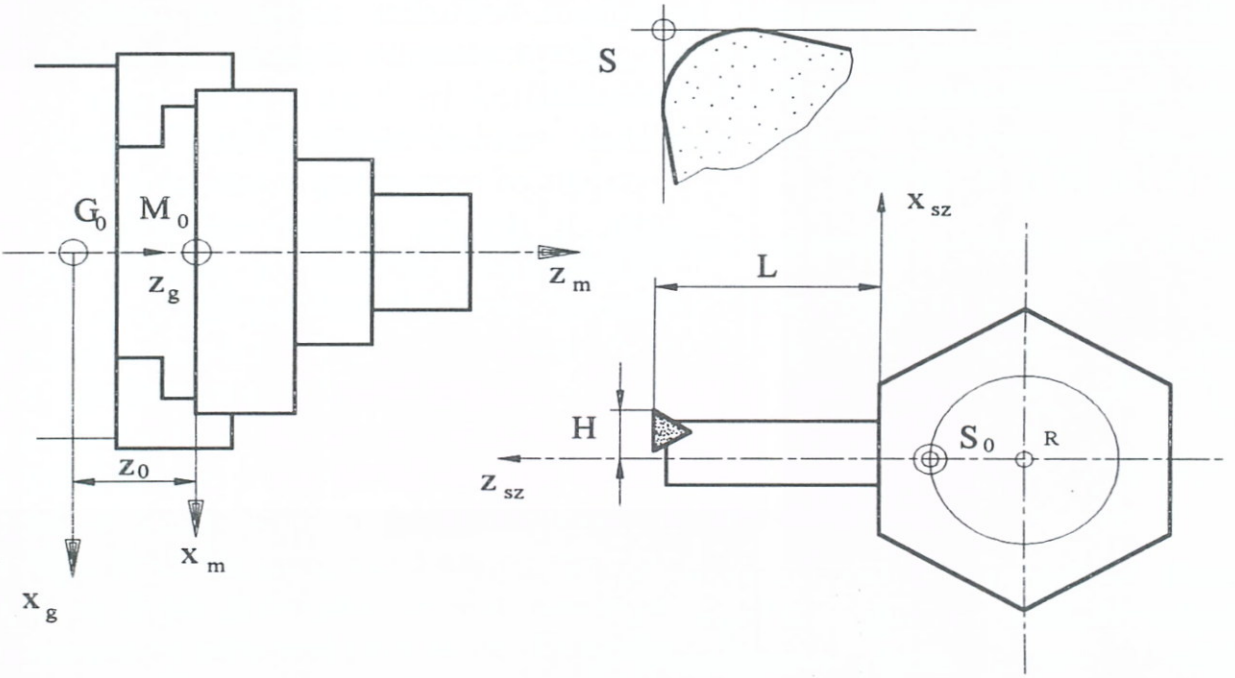
A munkadarab és a szerszám mozgásait egy tetszés szerint választott koordináta rendszerben kell leírni, ezért először a különféle koordináta-rendszerekkel foglalkozunk.



5.17. ábra: Koordináta irányok kijelölése

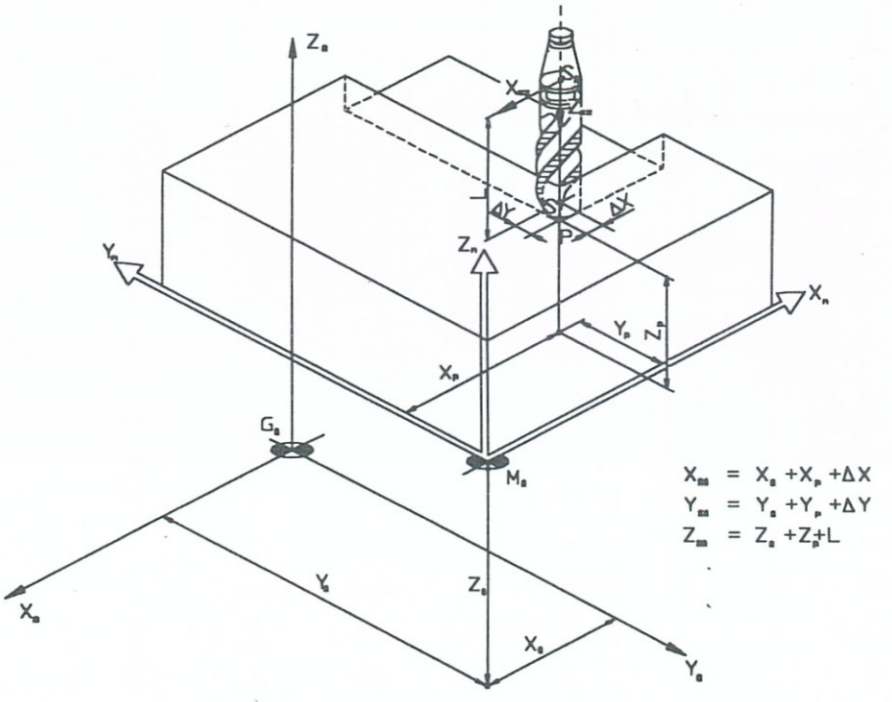
5.5.1.1. Koordináta-rendszerek

Az NC gépek programozása szempontjából 3 féle koordinátarendszert különböztetünk meg. Az egyes koordináta-rendszerek kezdőpontját nullpontnak nevezzük.
A koordináta-rendszerek jobbsodrású, derékszögű (Descartes) rendszerek (5.17. ábra).



5.18. ábra: Esztergagép koordináta rendszerei

Gépi koordináta-rendszer: (**"g"** index jelöli)
A géphez kötött állandó koordináta-rendszer. **"Z"** tengely iránya a szerszám irányával - főorsó irányával - esik egybe.
Ebben a koordináta-rendszerben adjuk meg nullpont eltolással a munkadarab



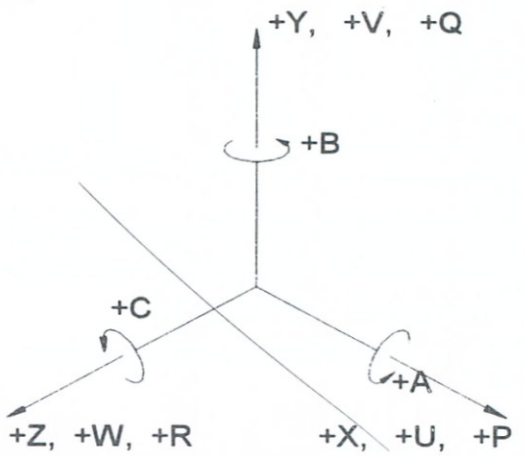
5.19. ábra: Megmunkáló központ koordonáta rendszerei

koordináta-rendszerének helyét. Origója (G_0) általában a mozgástartományon kívül van.
A munkadarab koordináta-rendszer: ("**m**" index jelöli)
Munkadarab tetszőleges pontjához köthető a következő szabály szerint: a tengelyirányok értelme akkor egyezik meg a gépi elmozdulások értelmével, ha a kérdéses irányban a "szerszám" végzi a mozgást, különben ellentétes értelmű.
Az alkatrészprogramban szereplő koordináta-értékeket ebben a rendszerben kell megadni, minden esetben úgy, mintha a mozgást a szerszám végezné.
Szerszám koordináta-rendszer: ("**sz**" index jelöli)
Kezdőpontja a szerszám vezérelt pontjában van és növekvő szerszámméretek felé pozitív. (5.18. és 5.19. ábrák).

Vizsgáljuk meg a három koordináta-rendszer kapcsolatát:

P: programozott pont (a megmunkálandó kontúr pontja)
S: a szerszám programozott pontja
S_0: a szerszám vezérelt pontja (a szerszám koordináta-rendszer kezdőpontja)
M_0: a munkadarab koordináta-rendszer nullpontja
G_0: a gépi koordináta-rendszer nullpontja

A rajzolt esetben a szerszám csak a "**Z**" koordináta mentén mozog, "**X**" és "**Y**" tengelyének irányai ezért ellentétesek a megfelelő gépi mozgásirányokkal.
A munkadarabhoz rendelhető koordináta-rendszert a szabvány rögzíti (MSZ 7789 az ISO/R alapján, 5.20. ábra). A másodlagos mozgásokat U, V, W, a harmadlagos mozgásokat P, Q, R jelöli. Forgó tengelyek - előfordulási szögek - értelmezése:



5.20. ábra: Szabvány szerinti koordináta rendszer

X *körül* **A, Y** *körül* **B, Z** *körül* **C**

Ha **pozitív** X, Y, Z tengelyirányból az origó felé tekintünk, akkor az **A, B, C** szögek az óramutató járásával **ellentétesen** növekszenek. A **gépi** mozgásirányokat " ' " - vel jelöli a szabvány (**X' , Y' , Z'**).

5.5.1.2. Nullpont, nullponteltolás, koordináta-rendszer transzformáció, korrekciók

Az alkatrészprogram geometriai adatait a munkadarab koordináta-rendszerben célszerű megadni. Tehát a **P** pont koordinátái: **Xp , Yp , Zp** . A vezérlés viszont a gépi koordináta-rendszerben a szerszámnak - a programozás szempontjából merev testnek - egy fix pontját (S_0) mozgatja. Általánosságban az S_0 pont koordinátái a G_0 kezdőpontú rendszerben a következő három részből tevődnek össze: (5.21. ábra)

$\overline{M}$ vektor skaláris összetevői a nullponteltolás értékek
$\overline{P}$ vektor összetevőit az NC program tartalmazza
$\overline{K}$ vektor összetevői a szerszámkorrekciós értékek

Az 5.21. ábra jelöléseit alkalmazva:

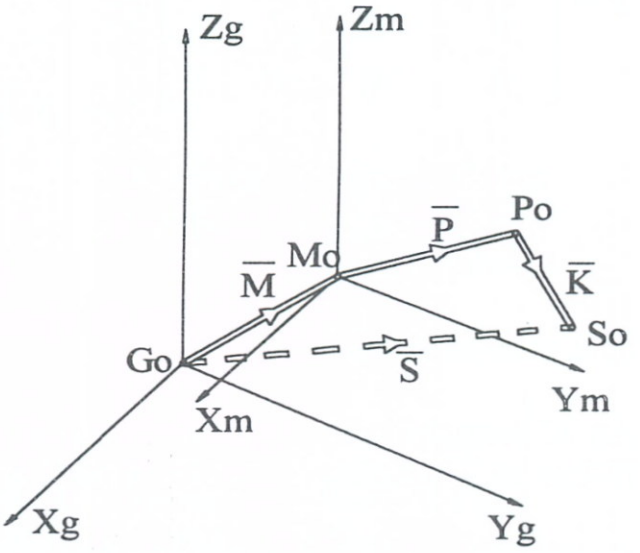
$$\overline{M} = (x_0, y_0, z_0)$$
$$\overline{P} = (x_p, y_p, z_p)$$
$$\overline{K} = (\Delta x, \Delta y, \Delta L) \quad \overline{S} = (x_0 + y_p + \Delta x,\ y_0 + z_p + \Delta y,\ z_0 + z_p + L)$$

A vezérlés tehát minden $\overline{P}$ vektorhoz - azaz az elmozdulások programozott P pontjához - meghatározza az $\overline{S}$ értékét. Ehhez két dologra van szüksége:

- nullponteltolás értékekre
- a szerszám geometriai méreteire.

A gépi koordináta-rendszer irányai a gép tervezésekor illetve a vezérlés illesztésekor való-sulnak meg. A gépi koordinátarendszer a prog-ramozó számára adottnak tekintendő, amelyhez alkalmazkodnia kell a munkadarab koordináta-rendszerének megválasztásakor.

Felvetődik a kérdés, hogy az alkatrészprogram készülhetne-e közvetlenül a gépi koordináta-rendszerben. A válasz igen, azzal a megjegyzéssel, hogy az ilyen programozás sok hátránya mellett semmilyen előnnyel nem járna. Gondoljunk csak arra, hogy a koordináta-transzformációkat ebben az esetben a programozónak kell elvégeznie, az alkatrészprogram csak adott méretű szerszámokra lenne jó, a rajzról leolvasott méretek közvetlenül nem jelennének meg a programban.



5.21. ábra: Gépi és programozási (munkadarab) koord.-rendszer kapcsolata

A munkadarab koordináta-rendszer bárhol felvehető a következő szabályok szerint:

1. Jobbsodrású, derékszögű koordináta-rendszernek kell lennie.
2. Z tengely iránya a szerszámtengely irányába essen (forgó munkadarabnál a forgástengely).
3. Tengelyirányok értelme egyezzen meg a gépi elmozdulások értelmével abban az esetben, ha a kérdéses irányban a szerszám végzi a mozgást. Különben ellentétes értelmű legyen.
4. A koordináta-tengelyek párhuzamosak legyenek a gépi megfelelőikkel.

A szerszámok programozott pontjai:

- eszterga : - a lekerekítési sugárhoz, a koordináta tengelyekkel párhuzamosan húzott érintők metszéspontja
  - vagy a lekerekítési sugár középpontja
- fúró : a fúró csúcspontja
- maró : a marószerszám középpontja

Koordináta transzformáció:

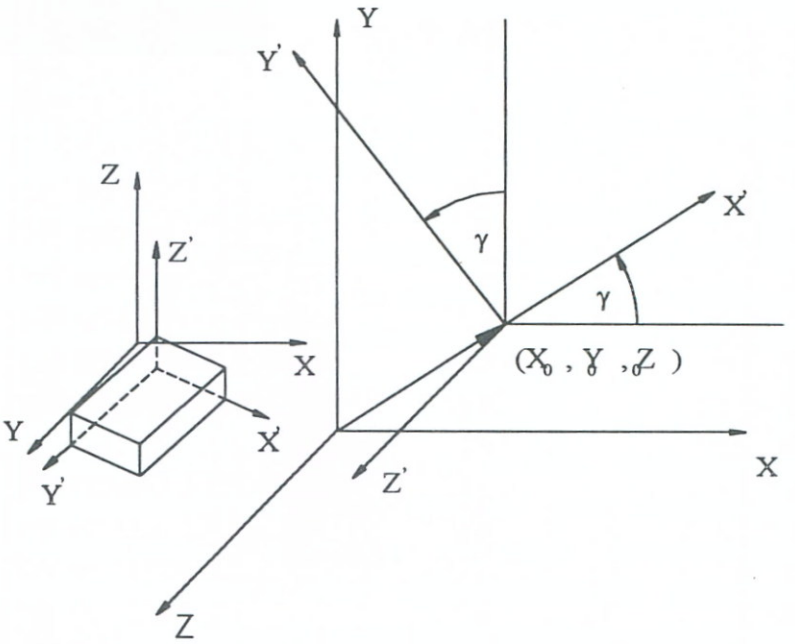
a) Z párhuzamos Z'-vel

A munkadarab koordináta-rendszere **Z'** körül γ szöggel elfordult. (5.22. ábra).

Ha egy pont koordinátái az **X'Y'Z'** rendszerben **P'(x',y',z',l)** akkor az *XYZ* koordinátarendszerben *P (x,y,z,1)* (Homogén koordináták).

$$P = \begin{bmatrix} \cos\gamma & -\sin\gamma & 0 & X_0 \\ \sin\gamma & \cos\gamma & 0 & Y_0 \\ 0 & 0 & 1 & Z_0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} P'$$

$$x = X' \cos\gamma - Y' \sin\gamma + X_0$$
$$y = X' \sin\gamma + Y' \cos\gamma + Y_0$$
$$z = Z' + Z_0$$



5.22. ábra: Koordináta transzformáció

b) Z nem párhuzamos Z'-vel

Az X' tengely irány-egységvektora X' (x, y_x, z_x), a Z' tengelyé Z' tengelyé Z'(x, y, z). Ekkor az Y' tengely irány egységvektora: $Y'=Z'xX' = Y'(y_z z_x y_x z_z' x_z z_x x_z y_x y_z)$.

Az X'Y'Z' koordináta-rendszerről az XYZ-re való áttérés leíró mátrixa a következő:

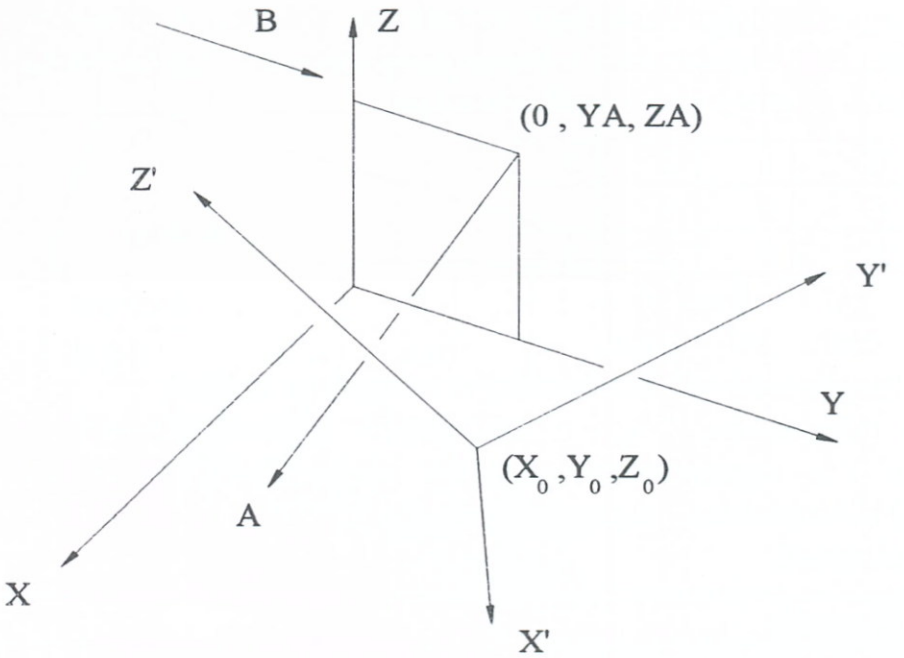
$$A1 = \begin{bmatrix} x_x & y_z z_x - y_x z_z & x_z & X_0 \\ y_x & x_x z_z - x_z z_x & y_z & Y_0 \\ z_x & x_z y_x - X_x y_z & Z_z & Z_0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Ha az $y_z \neq 0$, vagyis a Z' tengely nem párhuzamos az XZ síkkal, akkor egy A tengely körüli elforgatással (A | | X) helyzetbe kell hozni, hogy utána a szerszámot B tengely körül forgatva (B | | Y) a tengelye Z'-vel párhuzamos legyen.
Az A tengely körüli forgatás szöge α.
A transzformáció mátrixa:

$$A_2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\alpha & -\sin\alpha & -\cos\alpha \cdot YA + \sin\alpha \cdot ZA + YA \\ 0 & \sin\alpha & \cos\alpha & -\sin\alpha \cdot YA - \cos\alpha \cdot ZA + ZA \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

ahol α-ra a következők érvényesek:

$$\sin\alpha = \frac{y_z}{\sqrt{y_z^2 + z_z^2}} \qquad \cos\alpha = \frac{Z_z}{\sqrt{y_z^2 + z_z^2}}$$



5.23. ábra: Koordináta transzformáció általános esetben

Ezeket behelyettesítve:

$$A_2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{z_z}{\sqrt{y_z^2 + z_z^2}} & \frac{-y_z}{\sqrt{y_z^2 + z_z^2}} & \frac{-z_z YA + y_z ZA}{\sqrt{y_z^2 + z_z^2}} + YA \\ 0 & \frac{y_z}{\sqrt{y_z^2 + z_z^2}} & \frac{z_z}{\sqrt{y_z^2 + z_z^2}} & \frac{-y_z YA - z_z ZA}{\sqrt{y_z^2 + z_z^2}} + ZA \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Az A tengely körüli forgatás után az X'Y'Z' koordinátarendszerről XYZ-re történő áttérés mátrixa:

A= A2*A1

A P'(X',Y',Z') programozott pont koordinátái a következőképpen számolhatók:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix} = A * \begin{bmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \\ 1 \end{bmatrix}$$

5.5.2. A programnyelv szerkezete

A CNC programnyelv - hasonlóan az ismertebb számítógépes technológiai tervező rendszerekhez - mondat felépítésű.

Egy mondatot több elemi utasítás alkot - ezeket szavaknak nevezzük.

A szó általában egyetlen gépi funkcióra vonatkozó utasítás. A mondat egy pályaelemhez vagy akár egy teljes műveletelemhez tartozó összes utasítást tartalmazza.
A szó címből, jelből, adatból álló karaktersorozat

X	1	2	3
G	9	0	
X	#	1	5

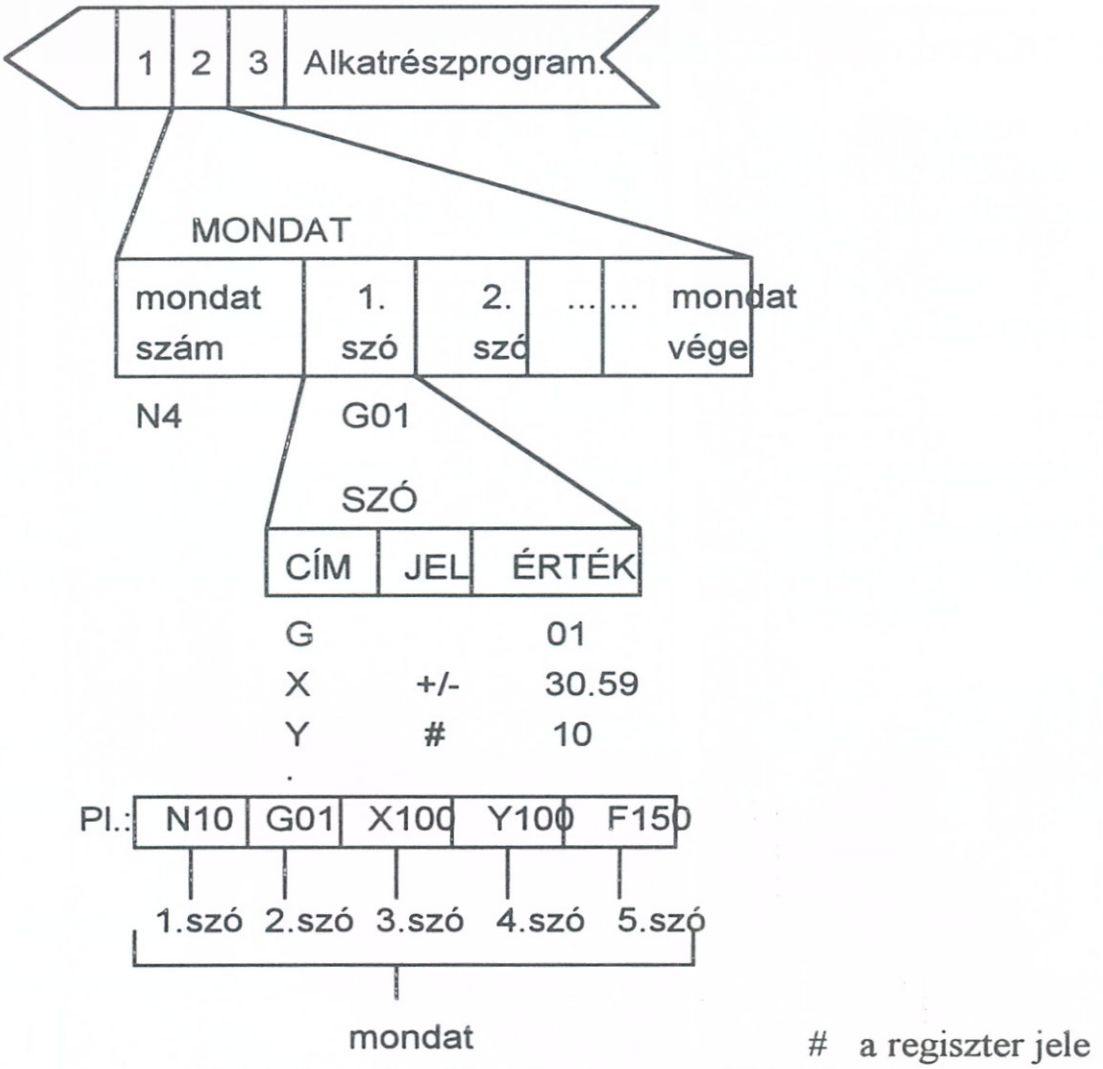
⇓ ⇓ ⇓

cím *jel* *adat*

A vezérlés a cím megfejtésével (dekódolás) értelmezi az adatot.

Elvileg teljesen közömbös, hogy a különböző gépfunkciókhoz milyen címbetűket rendelünk hozzá. Az egységesítés azonban elengedhetetlen feltétel, így az egyes vezérlések az ISO előírásokhoz ragaszkodnak (MSZ 9226, MSZ 9227).
Az egyes címek jelentése:

Karakter	Jelentés
A	Szögméret X tengely körül
B	Szögméret Y tengely körül
C	Szögméret Z tengely körül
D	Szögméret különleges tengely körül vagy harmadlagos előtolás
E	Szögméret különleges tengely körül vagy másodlagos előtolás
F	Előtolásfunkció
G	Előkészítőfunkció
H	Állandó jelleggel nincs lefoglalva
I	Interpolációs méret X tengely irányában
J	Interpolációs méret Y tengely irányában
K	Interpolációs méret Z tengely irányában
L	Állandó jelleggel nincs lefoglalva
M	Vegyes funkció
N	Mondat sorszáma
O	Nem használható
P	Harmadlagos mozgási méret X tengellyel párhuzamosan
Q	Harmadlagos mozgási méret Y tengellyel párhuzamosan
R	Gyors menet mérete Z tengely irányában vagy harmadlagos mozgási méret Z tengellyel párhuzamosan
S	Orsófordulat-funkció
T	Szerszámfunkció
U	Másodlagos mozgási méret X tengellyel párhuzamosan
V	Másodlagos mozgási méret Y tengellyel párhuzamosan
W	Másodlagos mozgási méret Z tengellyel párhuzamosan
X	Esődleges X mozgási méret
Y	Esődleges Y mozgási méret
Z	Elsődleges Z mozgási méret



5.24 ábra: Az alkatrészprogram felépítése

Az alkatrészprogram felépítését a 5.24. ábra szemlélteti.

A CNC vezérlések programozási nyelve - hasonlóan a számítógépi programnyelvhez - speciális szintaxissal és szemantikai szabályokkal rendelkezik.

Ma már kizárólag a címkódos rendszert használják. A címzési eljárás segítségével a szavak a mondaton belüli helyüktől függetlenül dekódolhatók, így a szavak sorrendje kötetlen. Ennek ellenére a könnyebb áttekinthetőség miatt javasolt sorrend létezik:

1. Mondatszám (**N**)
2. Előkészítő funkció (**G**)
3. Koordináták (**X,Y,Z,U,V,W,P,Q,R,A,B,C,D,E**)
4. Interpolációs adatok (**I,J,K**)
5. Előtolás (**F**)
6. Fordulatszám (**S**)
7. Szerszám és szerszámkorrekció (**T**)
8. Vegyes (kiegészítő) funkció (**M**)

Az ismétlődő utasításokat általában nem kell újra megadni, mert egy-egy utasítás addig van érvényben, amíg újabb eltérő nem jön. (Az utasítások öröklődnek.)

5.5.2.1. A CNC programokban előforduló utasítások

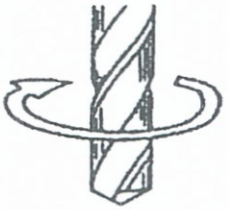
A szavak tartalmilag négy nagyobb csoportba sorolhatók: programtechnikai, geometriai, technológiai, programszervezési.
A programtechnikai és a geometriai utasításokat az alábbiakban ismertetjük.

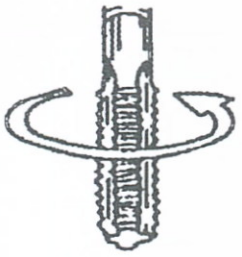
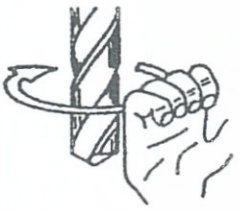
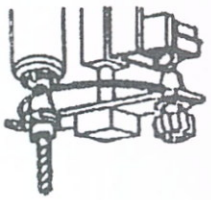
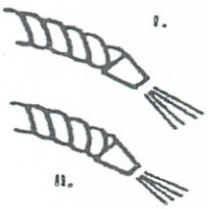
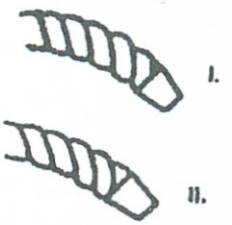
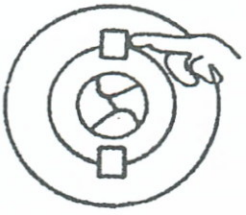
5.5.2.1.1. Programtechnikai és technológiai utasítások kódjai

N a ***mondatszám,*** amely a programmondat azonosítója, de nem befolyásolja a mondatok feldolgozási sorrendjét. Felvilágosítást ad a programfutás időbeni helyzetéről, biztosítja az egyes programrészek azonosítását (ugrások programozása, programjavítás stb.)

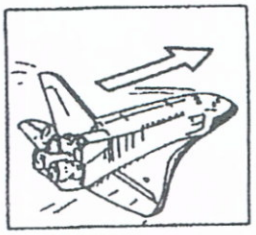
M00 ***feltétel nélküli megállás*** megszakítja a program futását, megállítja a főorsó forgását a végrehajtott NC mondat végén. Az öröklődő funkciókat nem törli.

M01 ***feltételes program megszakítás*** hatásában megegyezik az M00 funkcióval, azzal a különbséggel, hogy csak akkor kerül végrehajtásra, ha előzetesen a megfelelő kapcsolót a vezérlésen beállítottuk.

	M02	*Program vége*
	M30	*Program vége*
	M03	*Forgásirány és fordulatszám bekapcsolás*

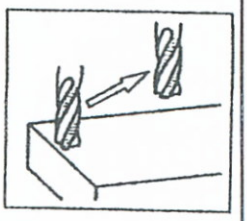
	M04	*Forgásirány és fordulatszám bekapcsolás*
	M05	*Főorsó megállítás*
	M06	*Szerszám-csere*
	M07 M08	*Hűtőfolyadék bekapcsolása*
	M09	*Hűtőfolyadék kikapcsolása*
	M19	*Főorsó indexelt megállítása*

5.5.2.1.2. Geometriai utasítások kódjai



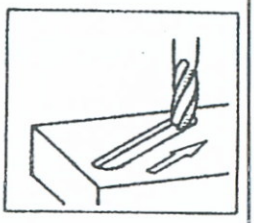
G00

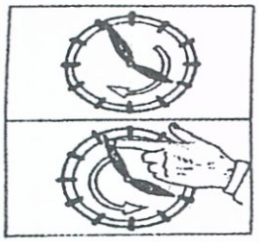
Gyorsmeneti pozícionálás



G01

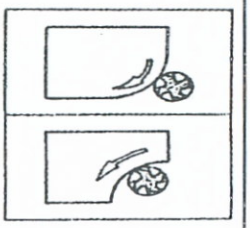
Lineáris interpoláció

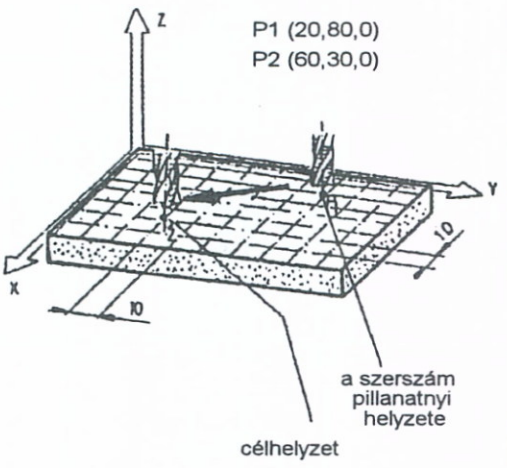




G02 G03

Körinterpoláció
az óramutató járásával
megegyező ellentétes





abszolút

N... **G90** **X60 Y30**

növekményes

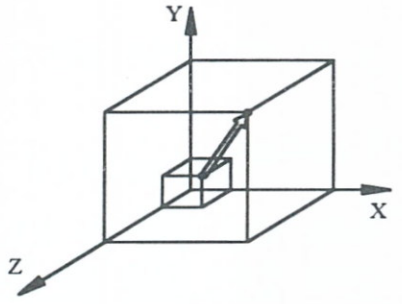
N... **G91** **X40 Y-50**

Pozicionálás gyorsmenettel

N... G00 X... Y... Z...

Egyenes menti elomozdulás előtolással (lineáris interpoláció)

N... G01 X... Y... Z...

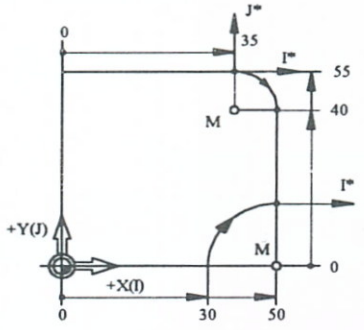


X,Y,Z : **G90** mellett a célhelyzet koordinátái

G91 mellett előjeles növekmények

Körív menti elmozdulás

G02,G03



G90 ***mellett***

N... **G02** X50 Y40 **I35 J40**

...

N... **G03** X30 Y0 **I50 J0**

G91 ***mellett***

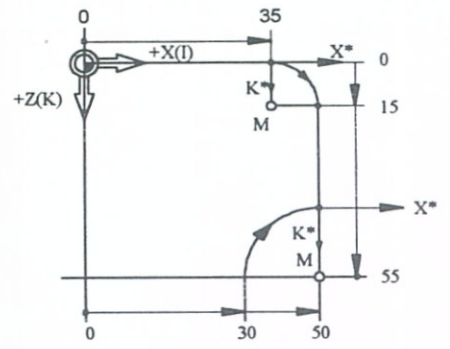
N... **G02** X15 Y-15 **I0 J-15**

...

N... **G03** X-20 Y-20 **I0 J-20**

I,J,K a ***körközéppont*** **X,Y,Z** koordinátáit jelenti az **X,Y,Z** koordináta-rendszerben (**G90** esetén). Növekményes méretmegadásnál (**G91**) a középpont adatait a körív kezdőpontjához képest kell előjel helyesen megadni. Ilyen esetben az **I,J,K** megadásánál könnyíthet, ha a körív ***kezdőpontjába*** **I*,J*,Z*** relatív koordináta-rendszert helyezünk.

Esztergagépeknél a koordináta rendszer X és Z tengelyű. Ilyen esetben a körív programozása a következôképpen történik:



G90 ***mellett***

N... **G02** X50 Z15 **I35 K15**
..
N... **G03** X30 Z55 **I50 K55**

G91 ***mellett***

N... **G02** X15 Z15 **I0 K15**
N... **G03** X-20 Z20 **I0 K20**

Egységsugár korrekció, pályagenerálás

A 5.5.1.1.-es fejezetben láttuk, hogy a szerszám programozott pontja és a megmunkálandó kontúron lévő célpont nem esik egybe. Ugyanakkor célszerű, ha az alkatrészprogramban a rajzról leolvasható koordináta értékek szerepelnek. A programozó általában háromféle módon járhat el:

1.) a kontúrpont koordinátáiból, a kontúr elemekből, valamint a szerszám lekerekítési sugarából (eszterga, forgácsoló szerszámok), illetve marószerszámoknál a szerszám félátmérőből, a szerszám programozott pontjának a helyzete meghatározható.
E módszer hátránya:

- az alkatrészprogram csak konkrét szerszámra lesz jó
- program írásakor a szerszám pontos méretét ismerni kell
- a programban nem jelennek meg az alkatrészrajzról leolvasható koordináták.

Régebbi NC vezérlések, gyengébb teljesítőképességű számítógépes NC programozó rendszerek csak konkrét szerszámméretekkel képesek dolgozni.

2.) a módszer hasonló az 1.) esethez, de a szerszám programozott pontjának a helyzetét a kontúrponthoz képest úgy kell megállapítani, hogy a szerszámsugár értéke 1 (egységnyi). Az alkatrészprogram a kontúrpont koordinátáit, és a vezérelt pont kontúrponthoz viszonyított helyzetét tartalmazza. Ez tulajdonképpen egy korrekciós vektor, amelynek a koordináta-tengelyekkel párhuzamos vetületeit kell megadni. A vezérlés ismerve a kontúrpont koordinátáit, az egységnyi szerszám sugárhoz tartozó korrekciókat, a szerszám tényleges geometriai méreteit meg tudja határozni a programozott pont pályáját.

Mivel az eltérést (korrekciót) úgy kell megállapítani, hogy a szerszámsugár értéke 1, ezért ezt a módszert ***egységsugár korrekció*** programozásnak nevezik. A korrekciós vektor vetületeinek programozására különböző nyelvi megoldások lehetségesek. Ezek közül néhányat példaként bemutatunk.

a.) külön NC címmel:

X irányban **P** vagy **CX**
Y irányban **Q** vagy **CY**
Z irányban **R** vagy **CZ**

b.) **G** kóddal:

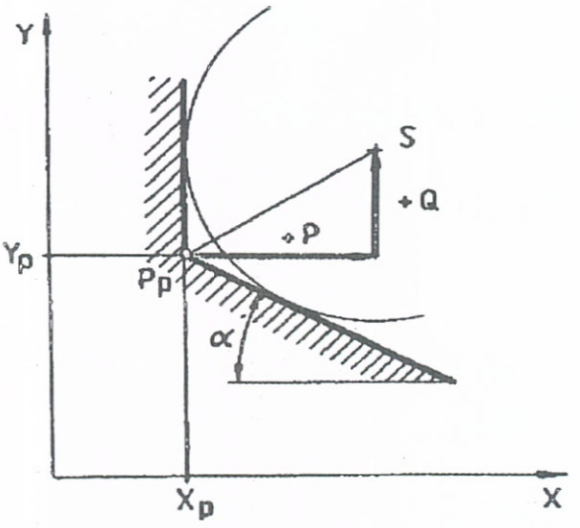
G41 és X irányban I
Y irányban J
Z irányban K

Egységsugár korrekció térbeli elmozdulás esetén is megoldást ad.

Az **S** pont eltérése a $\mathbf{P_p}$ ponthoz képest
X irányban: $\Delta x=R*tg((90-\alpha)/2)$
Y irányban: $\Delta y=R$
R értéke legyen egy ($R\equiv1$), így
$\mathbf{\Delta x=tg((90-\alpha)/2)}$ és $\mathbf{\Delta y=1}$

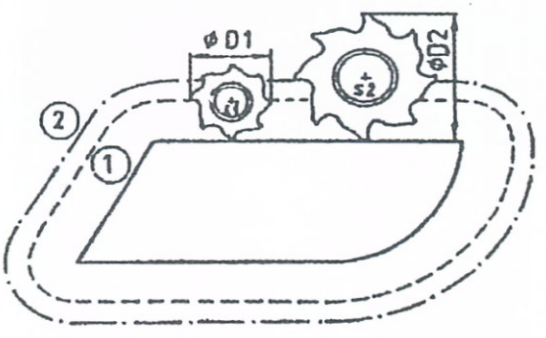
Az NC programsor például:

N... Xx_p Yyp **P**Δx **Q**1.



5.25. ábra: Egységsugár korrekció

3.) Síkban lévő kontúrok programozásakor a programozónak a legnagyobb segítséget a ***kontúr vagy pályagenerálás*** nyújtja. Ez esetben az alkatrész-program a megmunkálandó kontúrt taralmazza, és azt az információt, hogy a szerszám haladási irányba nézve a kontúrhoz képest *jobb*, vagy *bal* oldalon helyezkedik-e el. A **G41** vagy **G42** utasítás hatására a vezérlés - a szerszámátmérő ismeretében - az alkatrészprogramban leírt kontúrral ekvidisztáns pályát határoz meg.

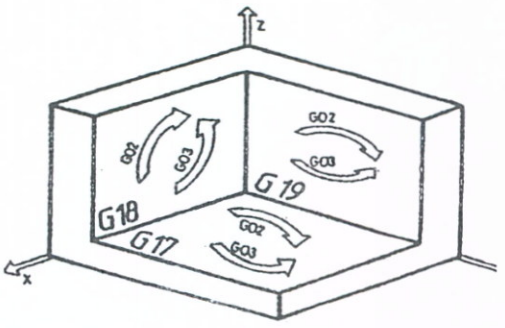


5.26. ábra: Kontúrgenerálás

Minthogy a vezérlés csak két egymást követő kontúrelemet figyel, így olyan esetekben amikor a

szerszámátmérő nagy az elemekhez képest, belemetszhet a felületbe.Ha a szerszámátmérő D1, akkor az 1, ha D2 a 2-es számú ekvidisztáns pályán mozog a szerszámközéppont.

Az alkatrészprogramban először ki kell jelölni azt a koordinátasíkot, amelyben az elmozdulás történik



G17 *XY* sík

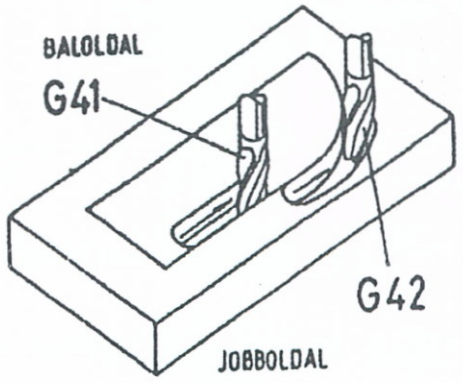
G18 *XZ* sík

G19 *YZ* sík

5.27. ábra

Ezt követően jelölhető ki a szerszám helyzete a felülethez képest.

A pályakorrekció érvénytelenítése a G40 kóddal történik



G41 a szerszám haladási irányban a felülethez képest ***bal*** oldalon

G42 a szerszám haladási irányban a felülethez képest ***jobb*** oldalon

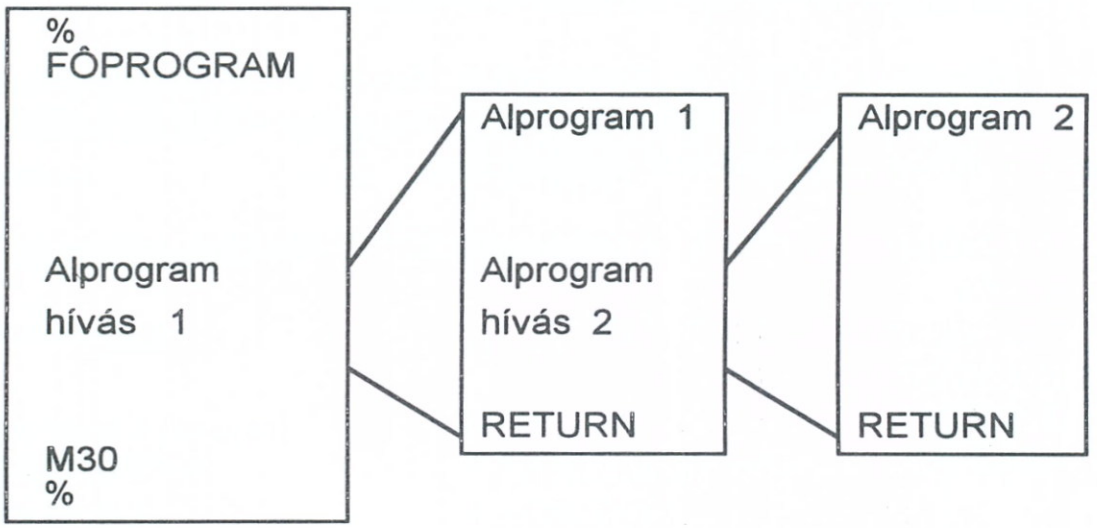
G40 a pályakorrekció ***érvénytelenítése***

5.28. ábra: Pályagenerálás

5.5.3. Paraméteres programozás

CNC vezérlések programozásának legösszetettebb módja a paraméteres programozás. Szabadon írhatók felhasználói alprogramok ("USER MACRO"), általánosan fogalmazhatók meg alkatrészprogramok, program részletek. A számítógépi programnyelvekhez hasonló funkcióval és szintaxissal rendelkező utasítások használhatók, változók szerepelhetnek az NC programban. Feltételes, feltétel nélküli utasításokkal, ciklus szervezéssel, matematikai függvények alkalmazásával elérhető, hogy ne a szerszámpálya, hanem annak meghatározására szolgáló algoritmus szerepeljen az utasításokban.

Paraméteres programozásnál mind főprogramok, mind alprogramok készíthetők (6.29. ábra). Az alprogramok főprogramokból és egymásból is hívhatók.



5.29. ábra. Fő és alprogramok kapcsolata

5.5.3.1. A program szerkezete

A paraméteres programozáshoz tartozó program részek speciális jelekkel és nyelvi elemekkel a hagyományos NC program környezetbe beszerkeszthetők -természetesen a vezérlés fogadókészsége mellett -, mintegy kiterjesztve az ISO nyelv szintaxisát és szemantikai szabályait.

Változók használata

Többféle változó használata megengedett a programban:

- BOOLEAN
- INTEGER
- REAL
- CHAR
- STRING
- FILE

Ezen változók érvényességi köre háromféle lehet:

- a definiálás szintjén (LOCAL)
- a program futása alatt bármely programrészben (GLOBAL)
- és a rendszer bármely programjában (COMMON)

```
pl:   [DATA                                  változók deklarálása
      COMMON INTEGER: INC_ABS;               INC_ABS nevű INTEGER
                                             változó ( COMMON)
      LOCAL REAL: XPOS,DEPTH;                XPOS és DEPTH változók
                                             deklarálása LOCAL, REAL
      ENDDATA];                              deklaráció vége
```

"[","]" : a paraméteres programozás kezdete, illetve vége.

A változók deklarálása **DATA** és **ENDDATA** főszók kőzőtt lehetséges. Ugyancsak deklarálni kell az eljárásokat (**PROCEDURE**) és a funkciókat is (**FUNCTION**). Mindkét esetben formális paraméterek adhatók meg.

```
Pl.:  [PROCEDURE CYCL_81( VAR P1,P2,P3: REAL);   eljárás deklaráció
      DATA
      LOCAL REAL: ZSET,RSET;                     változók deklarációja
      ENDDATA;
      ZSET:=P1;
      RSET:= P2;                                 eljárás törzs
      .
      .
      ENDPROC];                                  eljárás deklaráció vége
```

Aritmetikai műveletek

összeadás	A:=B+C
kivonás	A:=B-C
szorzás	A:=B*C
modulo	A:=B MOD C
egész típusú osztás	A:= B DIV C

Összehasonlító műveletek

=,<>,>,>=,<,<=

Logikai műveletek

OR,XOR,AND,NOT

Aritmetikai funkciók

négyzetgyök vonás	SQRT(a)	a=3 b=4	c=SQRT(a*a+b*b)	c→5
abszolut érték	ABS(a)	a=-3.2	c=ABS(a)	c→3.2
egész rész	TRUNC(a)	a=5.86	c=TRUNC(a)	c→5
kerekítés	ROUND(a)	a=5.50	c=ROUND(a)	c→6
		a=5.49	c=ROUND(a)	c→5
tizedes rész	FRAC(a)	a=3.25	c=FRAC(a)	c→0.25
		argumentum	*eredmény*	

	RAD(a)	fok	radián
szögek	DEG(a)	rad	fok
konverzió	BIN(a)	BCD kódról binárisra	
	BCD(a)	bináris kódról BCD-re	

Trigonometrikus funkciók

sinus	SIN(a)	cosinus	COS(a)	tangens	TAN(a)
arcus sinus	ARCSIN(a)				
arcus cosinus	ARCCOS(a)				
arcus tangens	RCTAN(a)				

az X tengellyel bezárt szög értéke ANGLE(a,b) pl w:=ANGLE(10,10) w→45

Logaritmikus funkciók

exponenciális funkció	EXP(a)	w:=EXP(2)	w→7.39
logaritmikus	LN(a)	w:=LN(2)	w→0.69

Operációk prioritási szintjei

szintek	*művelet*
prioritási szint 3 (magas)	NOT
prioritási szint 2	*,/,AND,MOD,DIV
prioritási szint 1	+,-,OR,XOR
prioritási szint 0 (alacsony)	=,<,>,<=,>=,<>

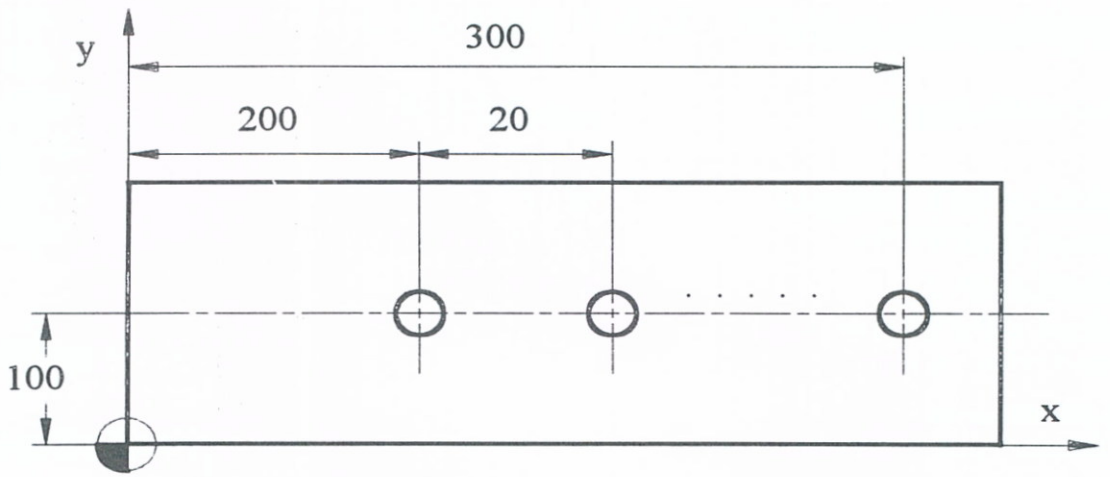
Végrehajtási utasítások

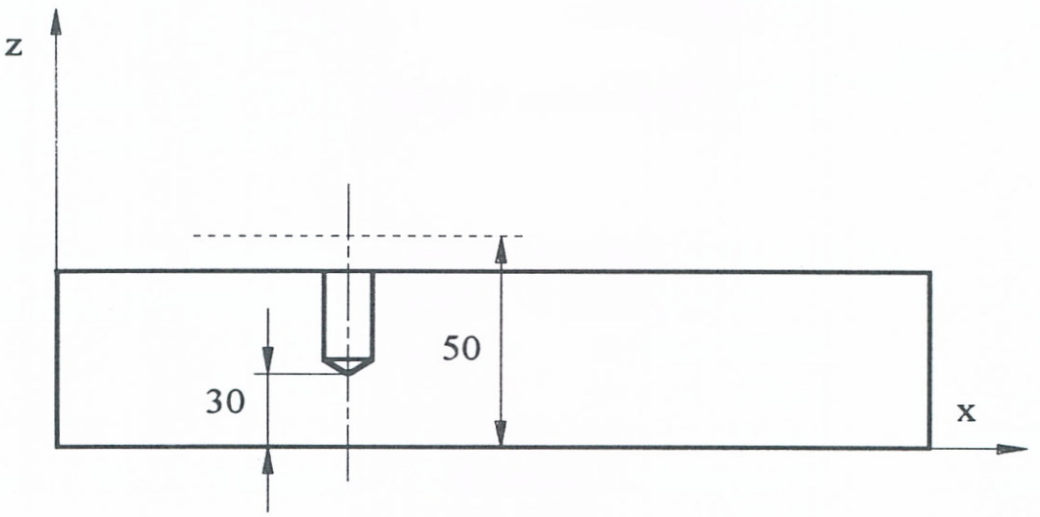
megnevezés	*szintaxis*	
Feltétel nélküli ugrás	GOTO <cimke>	<cimke> 0.....9999
Érték szerinti elágazás	CASE <aritmetikai kifejezés> IS WHEN <konstans1>:utasítás1	
	IS WHEN <konstans2>:utasítás2	
	.	
	.	
	IS WHEN <konstansn>:utasításn	
	OTHERWISE:utasítás n+1	
	ENDCASE;	
Feltételes utasítás	IF<logikai kifejezés> THEN <utasítás> ELSE <utasítás> ENDIF;	

While	WHILE <logikai kifejezés> DO <utasítás> ENDWHILE;
Ciklus	FOR <változó>:=<kifejezés1> TO/DOWNTO <kifejezés2> DO <utasítás> ENDFOR;

Példa paraméteres programozásra:

```
%
O1234                                          program azonosító
[DATA                                          változó deklarálás
 LOCAL REAL:XPOS,DEPTH,RPLANE,DELAY;
 ENDDATA;
PROCEDURE CYCL_81(VAR P1,P2,P3:REAL);          eljárás deklaráció
      DATA
      LOCAL REAL:ZSET,RSET;
      ENDDATA;
```





5.30. ábra. Példa

```
      ZSET:=P1;                          a munkaelőtolás végpontja
      RSET:=P2;]                         a gyorsmeneti mozgás végpontja
      N100 G00 Z[RSET]                   elmozdulás gyorsmenettel
      N110 G01 Z[ZSET]                   elmozdulás munkaelőtolással (fúrás)
      N120 G04 F[P3]                     várakozás a furat végén
      N130 G00 Z[RSET]                   elmozdulás gyorsmenettel

[ENDPROC;]

N10 G00 X100. Y100. Z150. F0.15          pozícionálás

[XPOS:=190; DEPTH:=30; RPLANE:=50; DELAY:=2;   értékadás
 WHILE XPOS<=300 DO                      ciklus szervezés
      XPOS:=XPOS+10;]

      N20 G00 X[XPOS]                    pozícionálás a követ-
                                         kező furat kezdőpontra
      [CYCLE_81(DEPTH,RPLANE,DELAY);     eljárás hívása
ENDWHILE;]

N30 M30                                  program vége
%
```

Számos CNC vezérlésen a fenti nyelvi megoldástól eltérőt alakalmaznak.

5.5.4. Rögzített cikilusok

A munkadarabokon gyakran ismétlődő, jellegzetes felületelem csoportokhoz, műveletelemekhez tartozó mozgáscikolusakat a CNC vezérlések "készen" tartalmazhatják. Ezek egyszerű nyelvi eszközökkel aktívizálhatók, alkalmazásuk kényelmessé és biztonságossá teszi az alkatrészprogram készítését. A ciklusok használhatók:

- esztergálási műveletelemekhez (pl.: nagyoló hossz és kereszt-esztergálás, menetesztergálás, stb.)
- fúrási, marási műveletetkhez (fúrási, marási ciklusok, pontmintázatok stb.)
- mérésekhez (szerszám és munkadarab mérés)

5.5.4.1. Fúrási, marási fix ciklusok

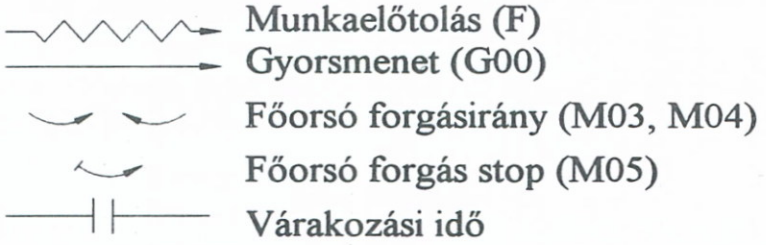
Általános formája a rögzített (fix) ciklusoknak:

N... G... G... X(x) Y(y) Z(z) R(r) Q(q) P(p) F(f) L(l)

N: mondatszám
G: a fix ciklus kódja (pl.: fúróciklus G81)
G: második "G" kód (98 vagy 99) a gyorsmeneti visszafutás helyét jelöli ki.

X: a kezdőpont "x" koordinátája
Y: a kezdőpont "y" koordinátája
Z: az előtolással történő elmozdulás végpontja (pl. a fúrás végpontja)
R: gyorsmozgás végpontja
Q: mélyfúrásnál egy fúrási lépés hossza
P: várakozási idő
F: előtolás
L: ciklus ismétlési szám

A ciklusok érvényessége **G80**-as kóddal törölhető. Példaként nézzünk meg néhány fúróciklust. Az elemi mozgásokat a ciklusban a következőkkel jelöljük:



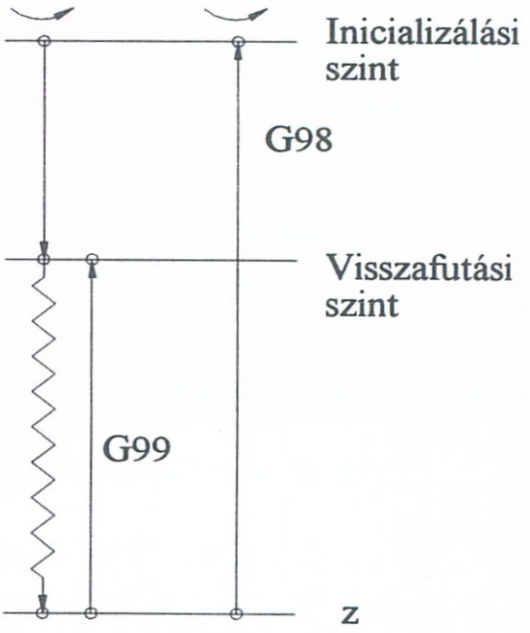
N... G81 X(x) Y(y) Z(z) R(r) F(f_0)

Mozgások:

- gyorsmeneti pozícionálás XY síkban "x,y" értékre
- gyorsmeneti pozícionálás Z irányban "r" értékre
- fúrás munkaelőtolással (f_0) "z" értékre
- visszafutás az inicializálási síkra vagy "r" értékre

Alkalmazzuk a G81-es fúróciklust a 5.31-es ábrán látható munkadarabra:

```
.....
.....
N20  G81  G99  X200.  Y100.
N25            X220.
N30            X240.
N35            X260.
N40            X280.
N45            X300.
N50  G80
```



5.31. ábra.
Egyszerű fúróciklus (G81)

.....
.....

Néhány egyéb fontos fúróciklus:

Mélyfúrás: G83

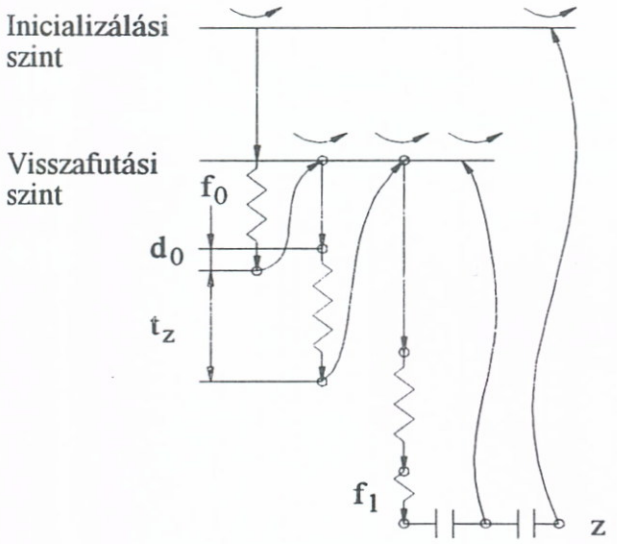
N... G83 G... X(x) Y(y) Z(z) R(r) Q(q) D(d_0) P(t_c) J(j) F(f_0)

Mozgásciklus:

a). gyorsmeneti pozícionálás az XY síkban "x,y" értékre
b). gyorsmeneti pozícionálás Z irányban "r" értékre
c). fúrás f_0 előtolással t_z mélységre
d). visszafutás a furat kezdőpontjára gyorsmenettel
e). visszatérés a furatba gyorsmenettel, az előző fúrási végpon elé d_0 távolsággal
f). c és e közötti ciklus ismétlődik ameddig a fúrási mélység el nem éri a z-i_0 értéket
g). fúrás i_0 hosszon csökkentett előtolással

$$f_1=f_0*j/100$$

h). várakozás a fúrás után t_c ideig
i). visszafutás gyorsmenettel G98, vagy G99 szerint

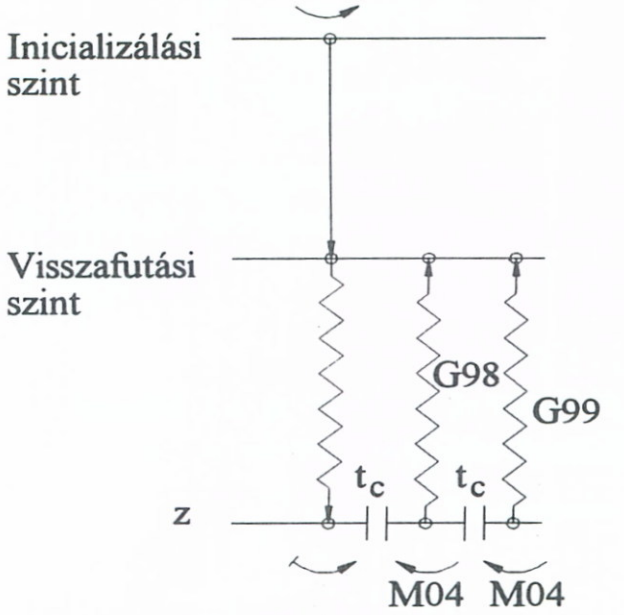


5.32. ábra. Mélyfúrási ciklus

t_z: egy lépés fúrási hossza
t_c: várakozási idő a fúrás végén
d_0: gyorsmeneti pozícionálás végpontja a furatban
i_0: csökkentett előtolás távolsága
j : előtolás csökkentés %-a
f_0: programozott előtolás érték

Menetfúrási ciklus: G84

N... G84 X(x) Y(y) Z(z) R(r) [F(f_0) P(t_c)]



5.33. ábra. Menetfúró ciklus (G84)

Mozgásciklus:

a). pozícionálás az XY síkban gyorsmenettel
b). menetfúrás f_0 (menetemelkedés) előtolással
c). M05 főorsó stop
d). várakozás t_c ideig
e). forgásirány váltás
f). visszafutás a furat kezdőpontig f_0 előtolással

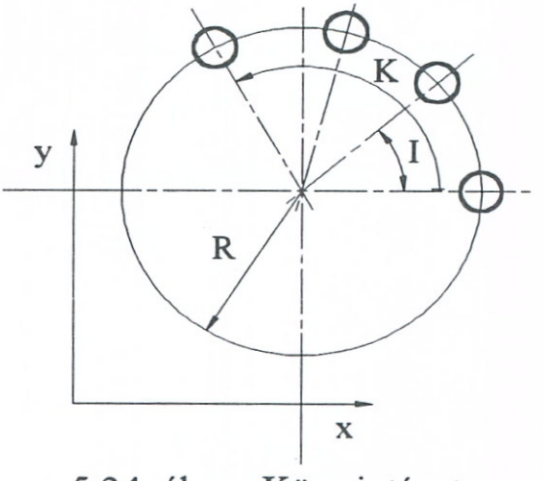
Pontmintázatok leírása:

A munkadarabokon a furatok gyakran pontmintázatokon helyezkednek el. Ez esetben először a pontmintázatot kell definiálni, majd a következő sorban a megfelelő fúróciklust. Két jellegzetes pontmintázat leírásán keresztül mutatjuk be a megoldásokat.

a). Pontmintázat körön

N... G77 X(x) Y(y) Z(z) R(r) I(i) K(k) J(j)

X : középpont koordináta (x)
Y : középpont koordináta (y)
Z : középpont koordináta (z)
R : kör sugara
I : az első furathelyzet "x" tengellyel bezárt szöge
K : az utolsó furathelyzet "x" tengellyel bezárt szöge
J : a furatok száma



5.34. ábra. Körmintázat

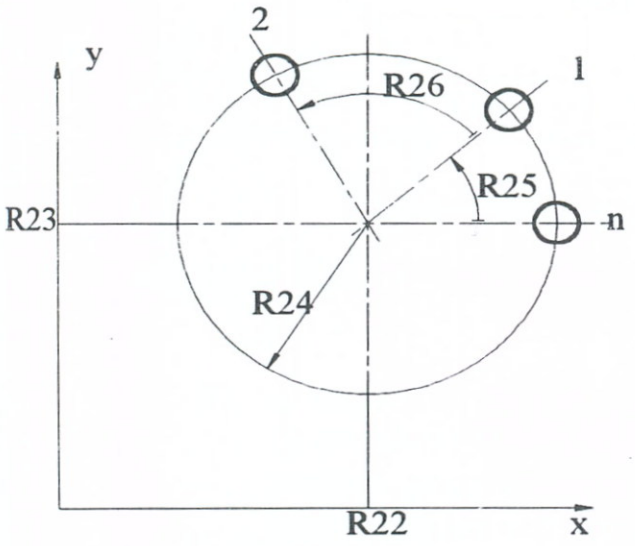
Teljes körnél (360^0) a K értékét nem kell megadni.
Például: .....
.....
N15 G77 X100. Y100. Z50. R50. I30. K120. J3
N11 G81 Z30. R53.
.....
.....

N10: pontmintázat definiálása →
- *középpont: x=100, y=100,z=50*
- *körsugár: r=50*
- *első furat 30^0-ra az x tengelytől*
- *utolsó furat 120^0-ra az x tengelytől*
- *furatok száma: 3*

N11: fúróciklus, amit az előző pontmintázaton hajtunk végre
- *futakezdőpont z mérete: 53 mm*
- *furatvégpont z mérete: 30 mm*

Itt jegyezzük meg, hogy az ismertetettől eltérő konkrét NC nyelvi megoldások is lehetségesek. Az előzőekben láttuk, hogy a ciklusok, pontmintázatok adatait külön NC címmel programoztuk. Van olyan megoldás, amikor az adatok paraméterezhetők, de a paraméterek jelentése kötött. Példaként nézzük meg az előző pontmintázatot, a paraméterek NC címe legyen " **R** ".

N... L900 R...=... R...=... R...=... R...=...



5.35.ábra.
Paraméteresen adott pontmintázat

L900: pontmintázat körön
R22: középpont x koordinátája
R23: középpont y koordinátája
R24: körsugár
R25: első furat szöghelyzete
R26: két furat közötti szögérték
R27: furatok száma
R28: fúróciklus azonosítója (pl.: 81)

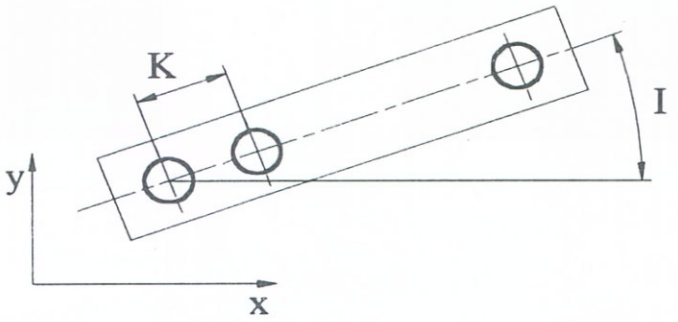
R2: fúrás kezdőpontja z irányban
R3: fúrás végpontja z irányban
R10: gyorsmeneti végpont z irányban egy fúróciklus befejezése után

Az előző eset adataival:

N10 R2=53. R3=30. R10=60. R22=100. R23=100. R24=50. R25=30. R26=30. R27=3 R28=81 L900

b). Pontmintázat egyenesen

N... G78 X(x) Y(y) Z(z) R(r) I(i) K(k) J(j)



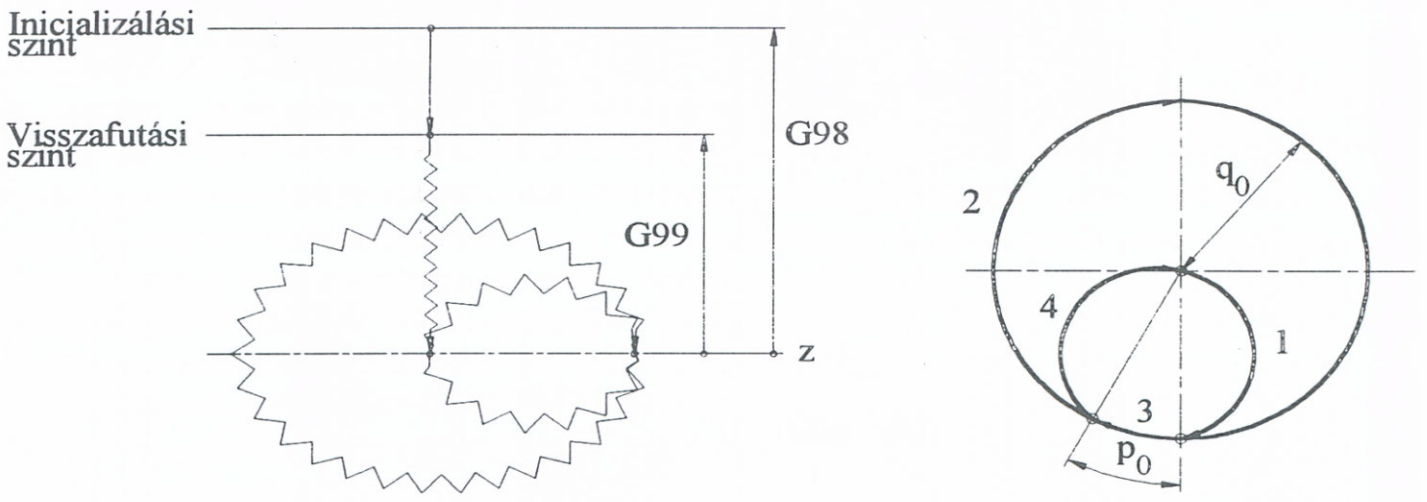
5.36. ábra. Pontmintázat egyenes mentén

X,Y,Z : az első pont koordinátái
R : ha 0, akkor "K" két pont közötti távolságot jelent
ha 1, akkor "K" a mintázat hosszát
K : furat távolság
J : furatok száma
I : x tengellyel bezárt szög

5.5.4.2 Marási ciklusok

Marási ciklusok közül a gyakran használt körmarást mutatjuk be. A körmarás az óramutató járásával megegyező (G72), vagy ellentétes irányban (G73) történhet.

N... G72 G... X(x) Y(y) Z(z) R(r) P(p_0) F(f_0) Q(q_0)
G73



5.37. ábra. Körmarási ciklus

X,Y : a kör középpontjának koordinátái
R : a gyorsmeneti mozgás koordinátája z irányban
P : körmarás után az átfedés értéke a körív mentén
F : előtolás
Q : a kör sugara

Mozgásciklus:

- Pozícionálás XY síkban a kör középpontjára
- Elmozdulás z irányban R értékre, gyorsmenettel

- Elmozdulás a furatban Z értékre munkaelőtolással
- Fogásvétel körív mentén (1)
- Körmarás a teljes kör mentén (2)
- Átfedés a kör mentén P értékkel (3)
- Eltávolodás a körtől vissza a középpontba (4)
- Pozícionálás a kezdőpontba

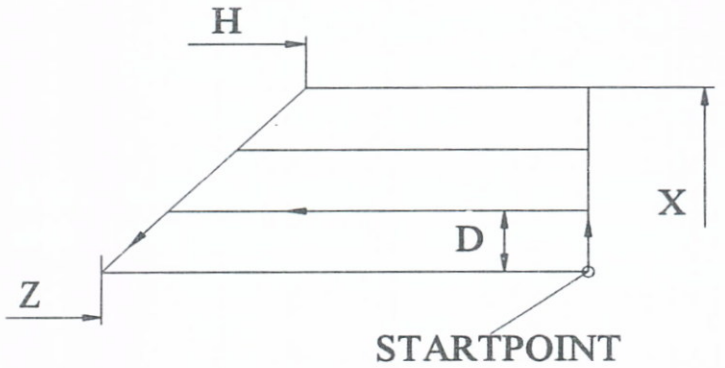
5.5.4.3. Esztergálási ciklusok

Az esztergálási ciklusok követik az esztergálási műveletelemeket. Általánosan használhatók a: - hosszesztergálási
- kereszt esztergálási
- beszúró
- menetesztergálási stb. ciklusok.

Az esztergálási ciklusok közül a nagyoló hosszesztergálási és menetesztergálási ciklust mutatajuk be.

Nagyoló hosszesztergálási ciklusokból kétféle különböztethető meg:

a). a leválasztandó alakzat egyszerű, néhány NC címmel programozható. (5.38. ábra)

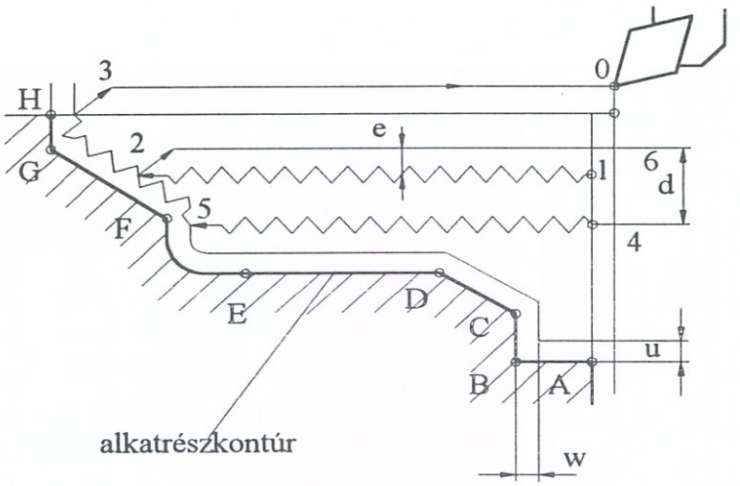


N... G70 X(x) Z(z) H(h) D(d)

5.38. ábra. Nagyoló ciklus (a)

b). a nagyolási ciklust több elemből álló munkadarab kontúr határolja. (5.39. ábra) Ebben az esetben a kontúr pontos leírása a simítási műveletelem programozásakor történik meg, a nagyoló ciklusban a kontúrleírás első és utolsó mondatát kell megadni. A forgácsolási végpontokat - az egyenes menti elmozdulások és a határoló kontúr metszéspontjait - a vezérlés számolja ki, figyelembevéve az esetleges simítási ráhagyásokat. A ciklus a szerszám pillanatnyi helyzetétől indul, tehát a ciklus hívása előtt a megfelelő pozícionálásról gondoskodni kell.

N... G71 P(p) Q(q) U(u) W(w) D(d) [F(f) S(s)]



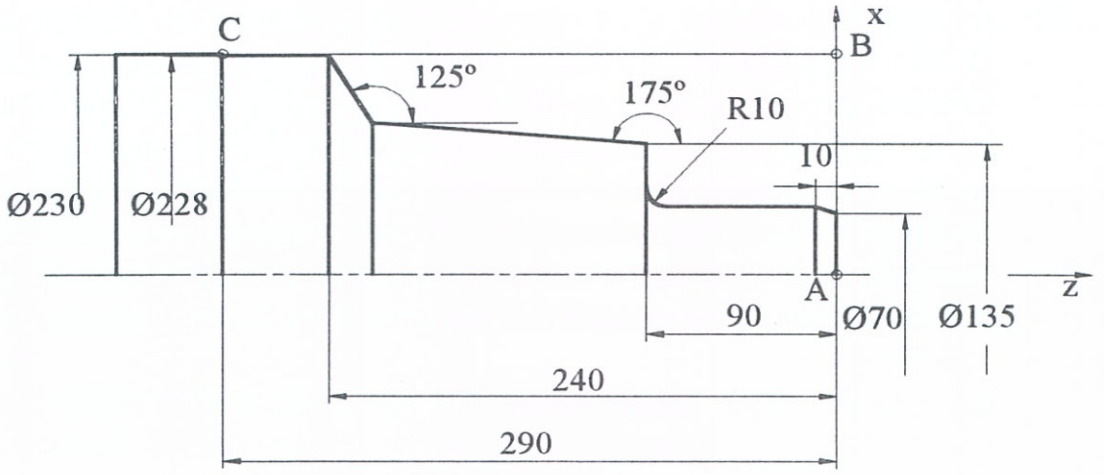
P : a kontúrleírás kezdő mondatszáma
Q : a kontúrleírás befejező mondatszáma
U : simítási ráhagyás x irányban
W : simítási ráhagyás z irányban
D: fogásvétel

5.39. ábra. Nagyoló ciklus (b)

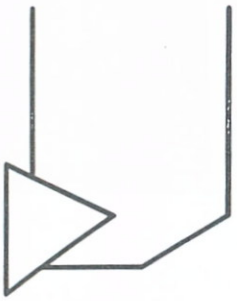
A nagyoló ciklus alapvetően kétfajta stratégia szerint működhet :

- az elemi elmozdulás végén a szerszám a fogásvételnek a kontúrelemre eső vetületével tovább megy a kontúr mentén, majd gyorsmenetben visszaáll a fogásvétel helyéhez.
- a szerszám az elemi elmozdulás végén 45^0-os kiemeléssel távozik a felülettől, majd gyorsmenetben visszaáll a fogásvétel helyéhez. Ennél a stratégiánál a mozgásciklus miatt, a szerszám élgeometriájától függően fogásvétel mélységű lépcsők maradnak a felületen. Ezért a nagyoló ciklus végén a szerszám végig megy a nagyolt kontúron.

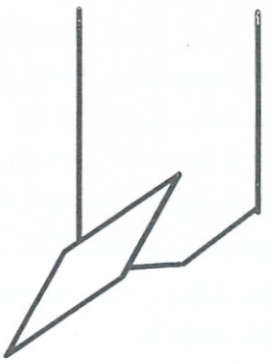
Nézzük a ciklus alkalmazására a következő példát: a feladat legyen a 5.40-os ábrán látható munkadarab nagyolása. A munkadarab nullpontja és a koordináta rendszerek iránya legyen az ábrán bejelölt. Az előgyártmány mérete : átmérő 230*290 mm.



5.40. ábra. Példa a nagyoló ciklus használatára



T5



T6

fogásvétel : 3 mm
előtolás nagyolásnál : 0.25 mm/ford
előtolás simításnál : 0.15 mm/ford
forg. sebesség
nagyolásnál : 120 m/perc
simításnál : 180 m/perc
simítási ráhagyás
x irányban : 0.5 mm
z irányban : 0.15 mm

```
%
N5                                  T5        M6
N10                                 V120 F0.25 M3   M8
N15  G0   G90  X230.                Z2.
N20  G71  P50  Q70  U0.5  W0.15     D3.
N25  G0                 Z150.
N30                                 T6        M6
N35                                 V180 F0.15
N40  G0   G42  X55.  Z1.
N45  G1                 Z0
N50  A90. A180.        X70.  Z-90. B-10. B10.
N55              X135.              Z-90.
N60  A175.       A125.              X228.     Z-240.
N65                     Z-290.
N70              X232.
N75       G40
N80  G0   Z150.
N85                                           M5   M9
N90                                           M2
%
```

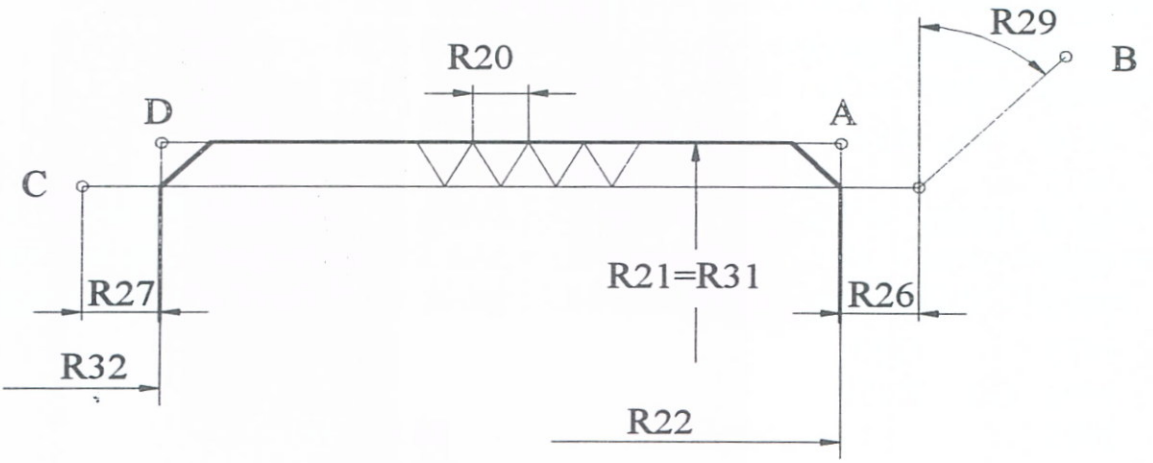
Magyarázat a programhoz:

N5 : szerszámváltás (nagyoló szerszám az 5-ös helyen)
N10: technológiai adatok programozása
N15: pozícionálás a ciklus kezdőpontra
N20: nagyoló ciklus definiálása
N25: a ciklus végrehajtása után pozícionálás szerszámváltási helyre
N30: szerszámváltás (simító szerszám a 6-os helyen)
N35: technológiai adatok programozása
N40: pozícionálás a kontúr kezdőpontjához. (biztonsági távolság 1mm, a szerszám a kontúr jobb oldalán fog haladni)
N45: pozícionálás munkaelőtolással a kontúrra

N50: elmozdulás az első palástfelületen
A90 a homlokfelület x tengellyel bezárt szöge
A180 az első palást felület x tengellyel bezárt szöge
X70.,Z-90. az első palást felület egy pontja
B-10. a letörés értéke az elem kezdőpontjában (45^0-os)
B10. a lekerekítés értéke az elem végpontjában
N55: elmozdulás a következő egyenes végpontjára
N60: A175. az első, A125 második kúp hajlás szöge
X228.,Z-240. az egyenes egy pontja
N65,N70 egyenes végpontok
N75: pályagenerálás kikapcsolása
N80: pozícionálás a szerszámváltási helyre
N85: főorsó megállítása és hűtőfolyadék kikapcsolása
N90: program vége

Menetesztergálási ciklusok közül az R paraméterekkel programozhatót mutatjuk be. (5.41. ábra)

N... L97 R...=... R...=... R...=... R...=...



5.41. ábra. Menetesztergálási ciklus

R20: menetemelkedés
R21: kezdőpont x koordinátája
R22: kezdőpont z koordinátája
R23: tisztító fogások száma
R24: menetmélység (külső menet +, belső menet -)
R25: simítási ráhagyás
R26: gyorsulási távolság a menet előtt
R27: túlfutás a menet után
R28: nagyolási fogások száma

R29: a fogásvétel irány szöge
R31: a végpont x koordinátája
R32: a végpont z koordinátája

NC címekkel (G,X,Z,I,J,K,... stb.) történő programozáskor szintén a fenti adatokat kell megadni. Van olyan NC vezérlés, ahol változó menetemelkedés programozható.
Egy elemi menetesztergálási ciklus az interpolált elmozdulásból, kiemelésből, gyors visszafutásból, és a kezdőpontra való visszaállásból áll. Az interpolált mozgás általában a G33-as kód segítségével programozható.

N... G33 X(x) Z(z) I(i) K(k)

X: a menetesztergálás végpontjának x koordinátája
Z: a menetesztergálás végpontjának z koordinátája
I: a menetemelkedés X tengelyre vett vetülete
K: a menetemelkedés Z tengelyre vett vetülete

Nézzünk egy elemi ciklust külső hengeres palástfelületen lévő menet esetén:

```
.....
.....
N551 G0   X...  Z...   pozícionálás az első interpolált mozgás kezdőpontjába
N552 G33  Z...  K...   interpolált elmozdulás Z tengellyel párhuzamosan
N553 G0   X...         kiemelés a menet külső átmérőjénél nagyobb értékre
N554              Z... visszafutás a fogásvétel helyére
N555      X...    Z... új fogásvétel
N556 G33  ..... interpolált elmozdulás az új fogással
.
.
.
.
```

5.5.4.4. Mérési ciklusok

A korszerű NC szerszámgépek alkalmazásakor a technológiai folyamat szerves része a mérés. A szerszámgépek nagyobb pontossága nem küszöbölte ki a mérés igényét, hanem új mérőberendezések fejlesztését indította el. A vezérlések fejlődése pedig lehetővé tette a mérési eredmények ON-LINE feldolgozását. Ma egy korszerű CNC vezérlésű szerszámgép 2-5 tengelyes mérőgépként használható, természetesen kisebb mérési pontossággal. A szerszámgép mérőrendszere és egy mérőtapintó együttesen szolgáltatják a geometriai elemek koordinátáit. Lehetőség van az egyszerű mérési funkciókon kívül a

folyamatközbeni szerszámmérésre, diagnosztikai, folyamat felügyeleti feledatok megoldására is.

Nézzünk néhány jellegzetes hibaforrást, amelyek a munkadarab gyártási pontosságát befolyásolják:

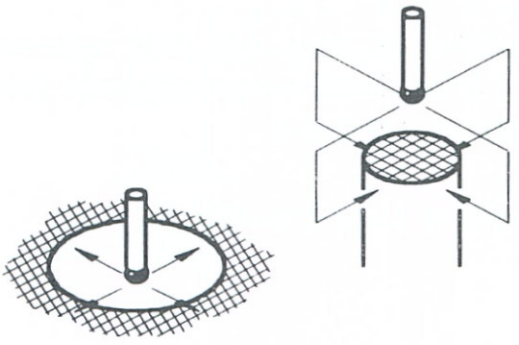
- a munkadarab felfogási pontatlansága
- palettacsere, tokmányváltás hibája
- szerszámkopás, deformáció
- a munkadarab deformációja, bázishossz változás
- a szerszám beállítási pontatlansága
- a szerszámgép pozícionálási és geometriai hibája
- szerszámok alak és méreteltérései

A méreteltérések a munkadarabon, és a szerszámon jelentkező hibák csökkenthetők, ezért a tapintóval történő mérés két nagy területre terjed ki:

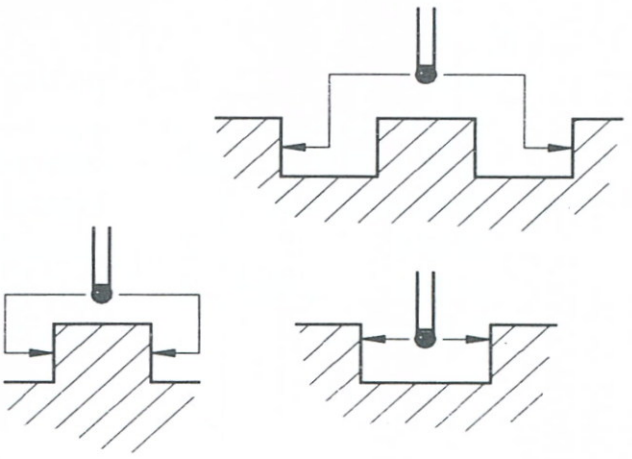
- mérés a munkadarabon
- mérés a szerszámon

A munkadarab megmunkálás előtti mérésével az előgyártmány pontos helyzete, mérete, a nullponteltolások állapíthatók meg, a megmunkálás közbeni és végső méréssel a felületek mérete ellenőrizhető. Elvégezhetők az esetleges korrekciók.

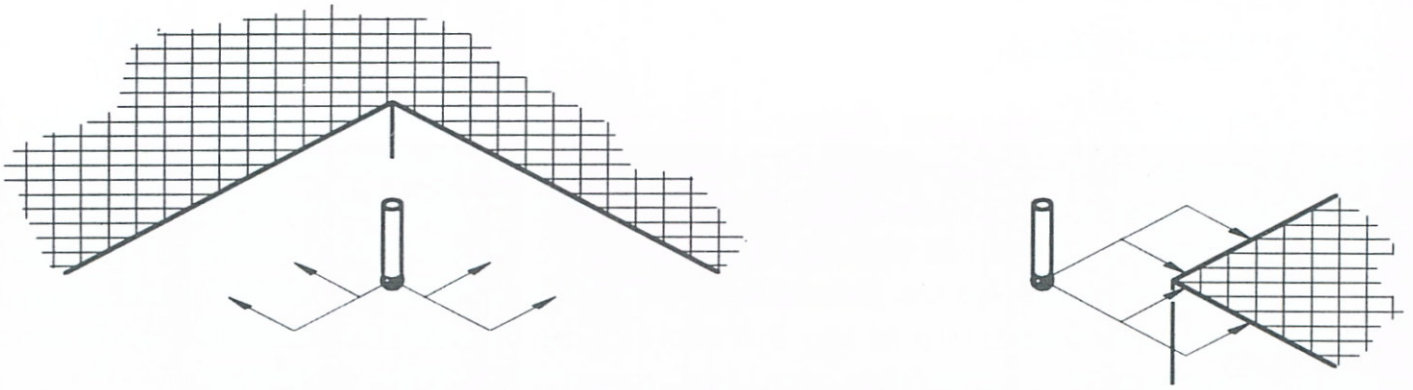
Szerszámméréssel a szerszám geometria, és később a szerszám kopás állapítható meg. Ezekre mutatunk be néhány példát (5.42.-5.49. ábra) :



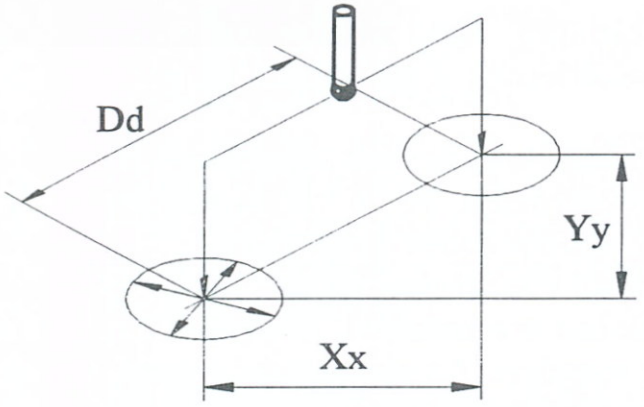
5.42. ábra. Furat / csap mérés



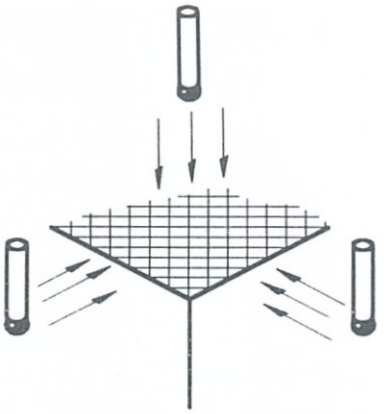
5.43. ábra. Borda / horonymérés



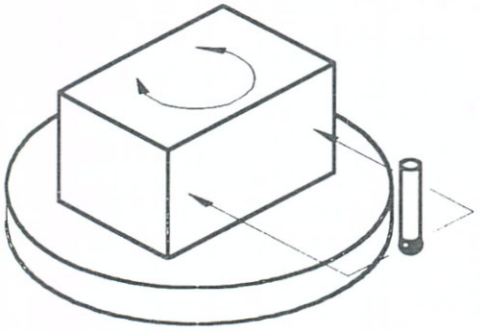
5.44. ábra. Külső / belső sarok mérés



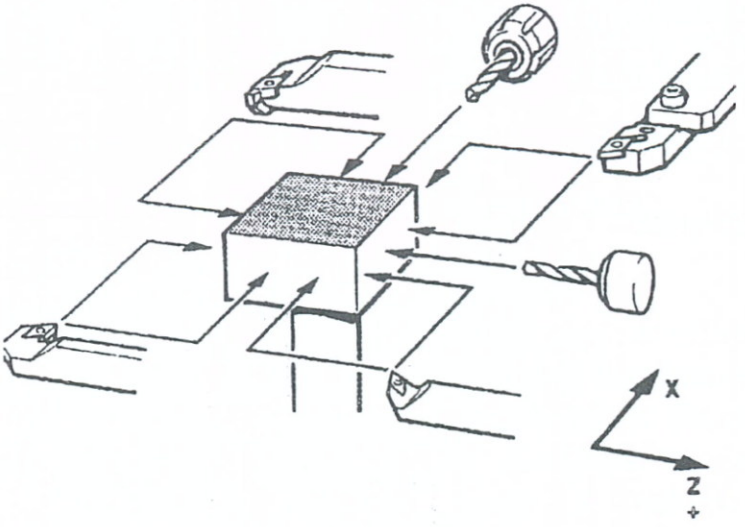
5.45. ábra. Helyzetpontosság mérés



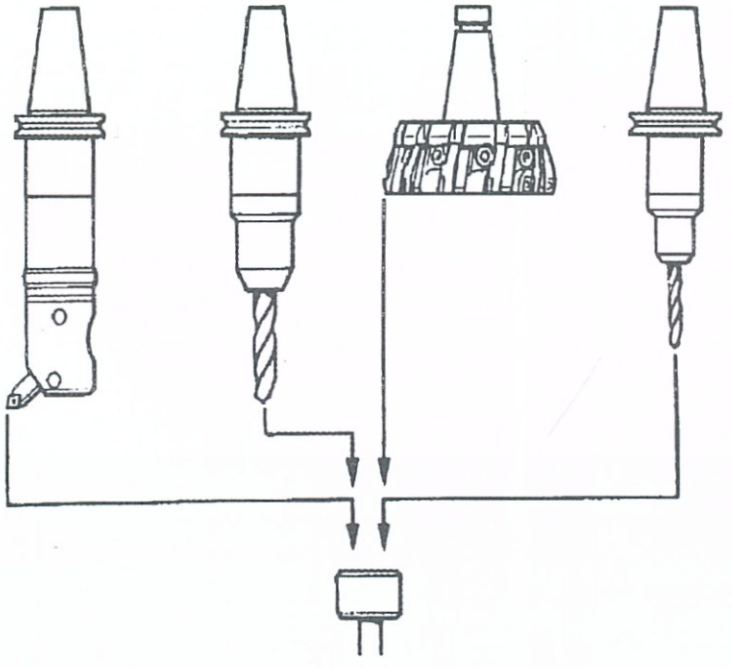
5.46. ábra. Ráhagyás mérése



5.47. ábra. Szöghelyzet mérés



5.48. ábra. Szerszámmérés (eszterga)



5.49. ábra. Szerszámmérés (megmunkáló központ)

A tapintóval történő mérés során mind a munkadarab, mind a szerszám mérésekor a szerszámgép útmérő rendszerét használjuk. A vezérlésnek a következő funkciókat kell ellátnia:

- a tapintási ciklus végrehajtása, tapintási koordináták megállapítása
- a geometriai elem adatainak meghatározása. Pl.: a kör kerületének mért pontjaiból a kör átmérőjének és középpontjának kiszámítása
- korrekció képzés, ami nem feltétlenül szerszámméret korrekciót jelent

A tapintóról érkező jel magas prioritású megszakítást eredményez, amelynek hatására a CNC vezérlés az útmérő regisztereinek tartalmát megőrzi. Az elmozdulás maradék része törlődik. A mérőjel hatására leolvasott pillanatnyi koordináta értékek feldolgozására két alapvetően eltérő megoldás alakult ki: az egyik az előforduló felületelemek főbb jellemzőinek meghatározására alprogram csomagot használ, a másik pedig NC nyelv (G,X,Y,Z,I,J,K... stb.) szintjén biztosítja a szükséges manipulációkat.

A tapintóval végzett mérés előnyei, hátrányai

Előnyök:

- Azonnal információt ad a munkadarabról, illetve a szerszámról. Így gyorsan és eredményesen avatkozhatunk be a gyártási folyamatba.
- A mérőprogram szervesen illeszkedik az alkatrészprogramba.
- A mérőelem viszonylag egyszerű és olcsó.
- A mérőelem illesztése könnyű.
- A munkadarab nem hagyja el a befogást, az esetleges korrigálások egyszerűen megvalósíthatók.
- Növekszik a gyártás megbízhatósága.
- Diagnosztikai feladatok oldhatók meg.
- Növelhető a gyártás automatizáltsága.
- Mérési eredmények dokumentálhatók.

Hátrányok:

- Növekszik az NC gépi idő.
- A munkadarab mérésre kedvezőtlen állapotban van. (pl. hőállapot)
- A mérés pontossága rosszabb mint egy külső mérőgépé.
- A befogás miatt a munkadarab deformált állapotban van.
- A tapintóról a jelátvitel bizonyos esetekben nehézséget okozhat.

A szerszámgépen a folyamatközbeni méréshez használt tapintók a működési elvük szerint két csoportba oszthatók:
- mérő típusú tapintók
- kapcsoló típusú tapintók

A *mérő típusú* tapintóknál maga a tapintó három irányban membrán rugókon van felfüggesztve. Nyugalmi állapotból való kitéréskor, saját kitérésével arányos jelet szolgáltat. A mért koordináta érték a tapintó saját jeléből és a szer-számgép útmérő regisztereiből kiolvasott értrékből áll. Elmozdulásuk maximum ± 3 mm.

A *kapcsoló típusú* tapintó a nyugalmi helyzetéből kitérve impulzust generál, amelyet az NC vezérlő dolgoz fel. Az impulzust általában áramkör megszakítással, vagy piezo kristály alkalmazásával állítja elő.
Ez a fajta tapintó tehát egy nagyon érzékeny mikrokapcsoló, amely 1 mikron elmozduláson belül kapcsol. A szükséges mérőerő kisebb mint 0.2 N. A kitérítő erő megszünése után a tapintó az eredeti pozícióba áll vissza.
Tapintóknál törekszenek a vezeték nélküli jelátvitelre. (pl.: induktív, opto-elektromos, rádió frekvenciás jelátvitel)

A mérési eredmények felhasználása

Szerszámmérés eredményeit közvetlenül érvényesítheti a vezérlés. A mért eltéréssel a szerszámméret automatikusan korrigálható, illetve a szerszámgép állapotot jelző szenzorok (pl.: hőmérséglet) adatainak a felhasználásával, a beépített algoritmus szerint az új korrekciók meghatározhatók.
Munkadarab mérésnél két probléma léphet fel :

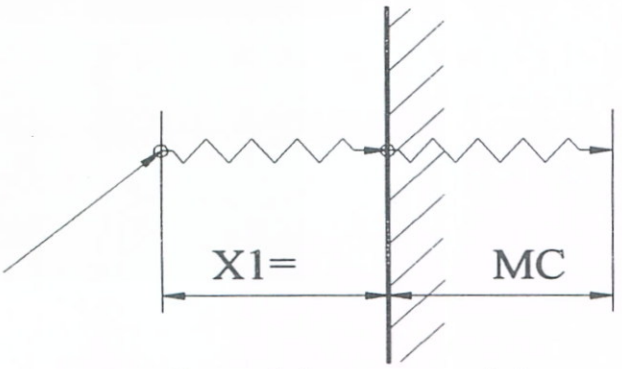
- a mért felület geometriai jellemzői hibásak. Pl.: a megmunkált kör átmérője eltér a programozottól.
- a felület helyzete hibás. Pl.: a kör középpontjának koordinátái

Méreteltéréseket egy algoritmus szerint meghatározott új szerszámkorrekciós értékkel, helyzettűréseket pedig a felülethez tartozó nullpont eltolás változtatásával hozhatunk helyre. Megjegyezzük azonban, hogy itt egy bonyolult technológiai problémával állunk szemben, amelynek a megoldása a szerszámméret korrekció és nullpont eltolás alkalmazásával eléggé leegyszerűsített. Előfordulhat ugyanis, hogy a műveleti műveletelem sorrenden kell változtatni, vagy hibás a készülék, befogás, szerszám megválasztása. A CNC vezérlések jelenleg (1995) csak geometriai korrekciókat alkalmaznak. Ahogy egyre több technológiai tudás integrálódik a vezérlésekbe, úgy egyre nagyobb az esély a megoldásra. Összetettebb esetekben a döntés a technológusra, programozóra hárul, felhasználva a mérés eredményeit.
Számos esetben a tapintót a mérés előtt hitelesíteni kell. A hitelesítés a szerszámgépre szerelt pontos méretű, és helyzetű mérőelemmel történik.
A mérési problémák közül egy pontnak és egy körnek a mérését mutatjuk be.

Adott pont mérése

A mérés során a tapintóval a mérendő felületet adott pontban meg kell érinteni. Ez úgy történik, hogy a mérés irányában a vezérlés a névleges pozíció előtt X1 távolságra start pozíciót, MC távolságra pedig célpozíciót jelöl ki. (5.50. ábra)
Ezen értékek általában gép paraméterek, de néha programozhatók.
A mérés folyamata :

- gyorsmeneti pozícionálás a start pozícióba
- előtolási sebességgel elmozdulás a célpontra (előtolás ≈ 100 mm/perc)Ha a tapintó az X1+MC távolság megtétele alatt nem érinti meg a mérendő felületet, a mérés sikertelen, a vezérlés hibajelzést ad.



X1 ≈ 1 mm
MC ≈ 1 mm
F≈100mm/perc

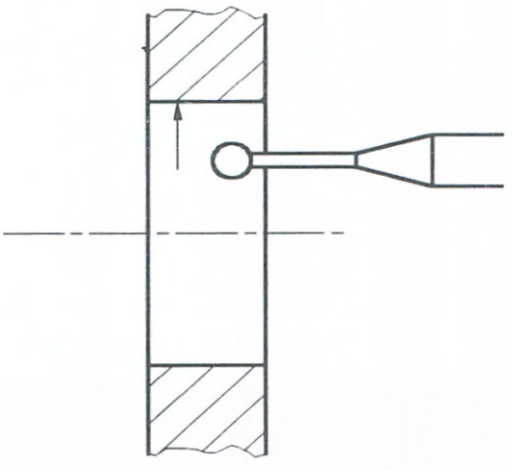
5.50. ábra. Adott pont mérése

N... G45 X(x) Y(y) Z(z) I(i) J(j) K(k) X1=(x1) T(t) P(p)

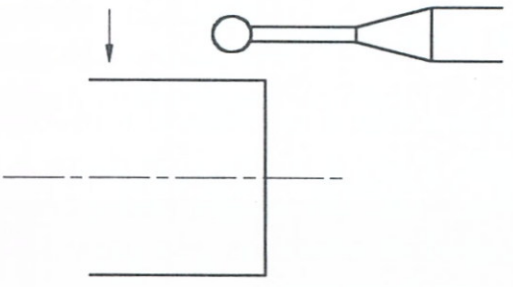
X,Y,Z: a mérendő pont koordináti
I,J,K: a mérési tengely iránya
I+1 pozitív x irány I-1 negatív x irány
J+1 pozitív y irány J-1 negatív y irány
K+1 pozitív z irány K-1 negatív z irány
X1= : start pozíció a mérendő pont előtt
T : a tapintó geometriai méreteit tartalmazó korrekciós regiszter száma
P : annak pontnak (paraméternek) az azonosítója , ahol a mért koordináta értékek találhatók meg

Kör mérése

Kör mérésekor mind a kör átmérőjét (sugarát) , mind a középpont koordinátáit meg kell határozni. Külső, illetve belső kör mérhető. (5.51., 5.52. ábra)



5.51. ábra. Belső kör mérése

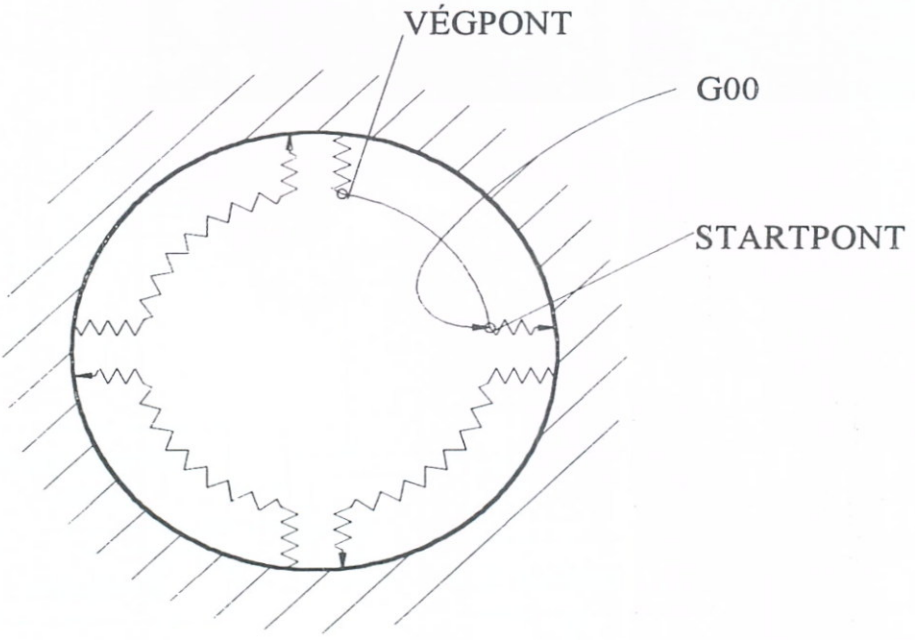


5.52. ábra. Külső kör mérése

N... G46 X(x) Y(y) Z(z) I(i) J(j) K(k) X1=(x1) R(r) P(p) E(e)

X,Y,Z,X1=,T, : jelentése ugyanaz mint pontmérésnél
I,J,K : a kör síkját jelöli, illetve azt , hogy külső, vagy belső kör
+1 belső kör
-1 külső kör
I+1, J+1 a kör az XY síkban van, belső kör
J-1, K-1 a kör az YZ síkban van, külső kör
I+1,K+1 a kör az XZ síkban van, belső kör
R: a programozott kör sugara
F: a négy mérési pont között az előtolás értéke
P: a vezérlés által kiszámolt körközéppont koordináták regisztere
E: a vezérlés által meghatározott körsugár érték regisztere

A mozgásciklus a 5.53. ábrán látható.



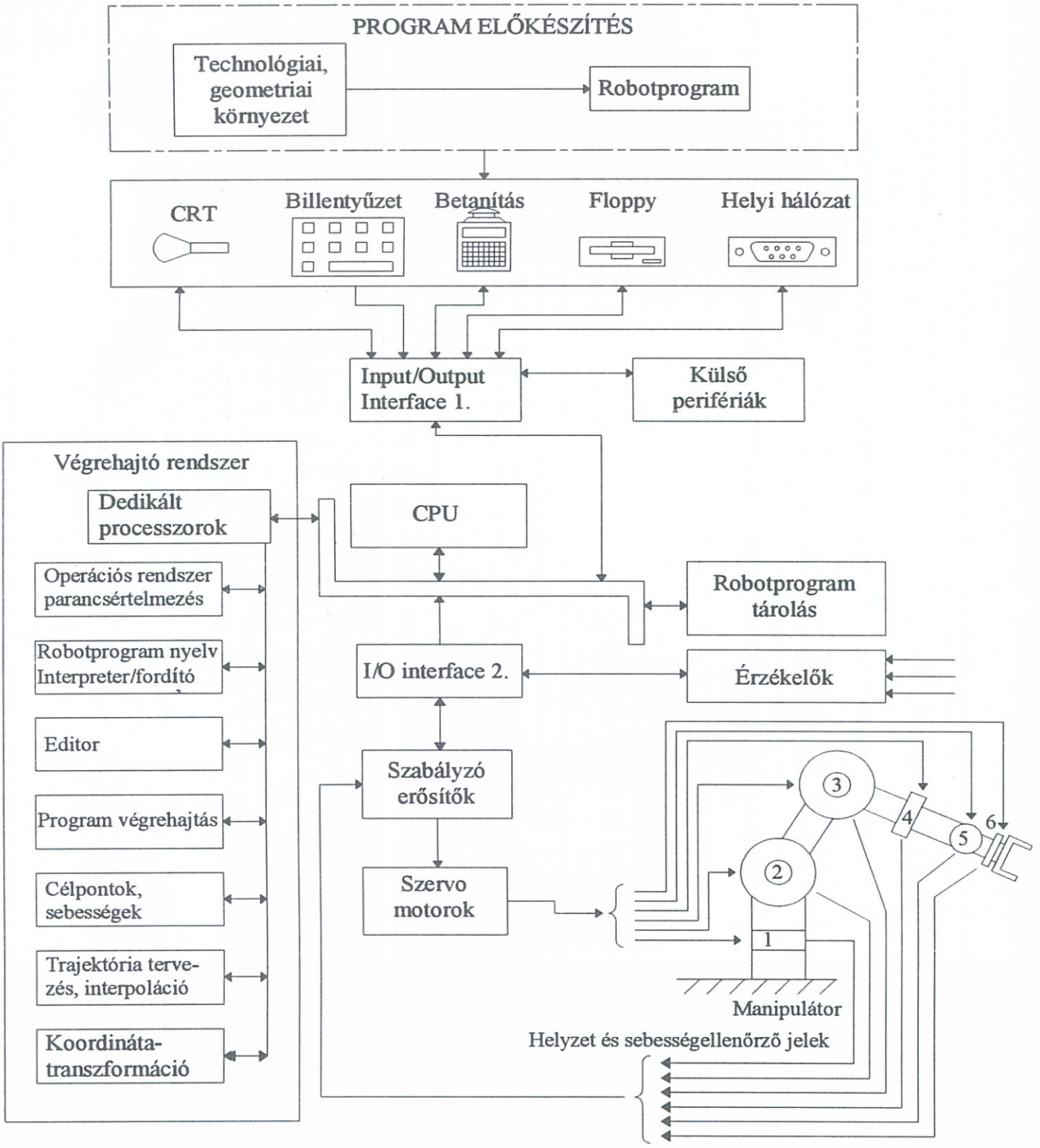
5.53. ábra. Mozgásciklus kör mérésnél

Mozgásciklus:

- a tapintó gyorsmenettel megy a start ponthoz
- elmozdulás fix előtolással az első számolt pontig.
- ha a tapintó megérinti a munkadarabot, a vezérlés a mérési koordinátákat megőrzi.
- visszamozgás fix előtolással a start pontba
- körivmenti elmozdulás programozott előtolással a következő számolt mérési ponthoz tartozó start pontba.
- négy mérési pontban ismétlődik a ciklus

5.6. Robotprogramozás

A robotprogramnak tartalmaznia kell azokat az utasításokat, amelyek alapján a vezérlés meg tudja valósítani a manipulátor mozgását, külső egységek működtetését, szenzorok jeleinek felhasználását, stb. Az elemek, modulok kapcsolatát mutatja be a 5.54. ábra.



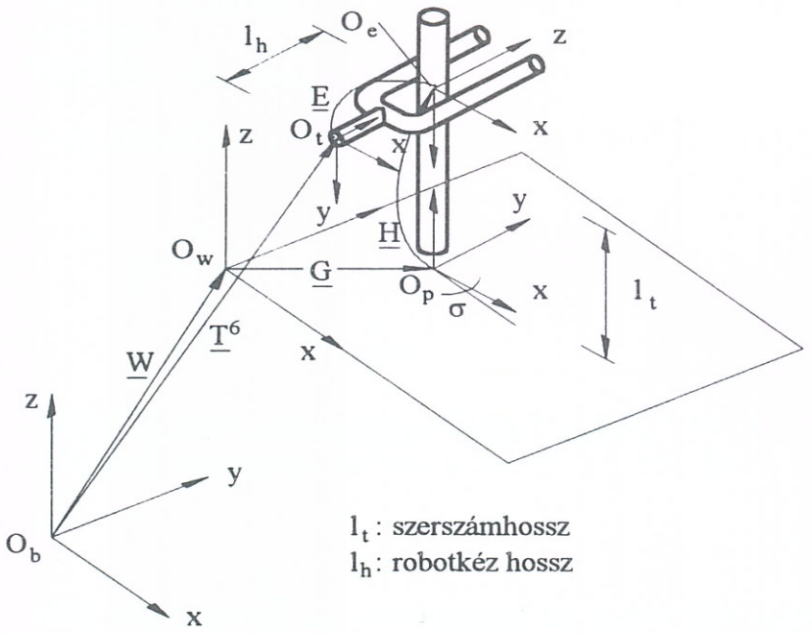
5.54. ábra. Rendszerelemek és kapcsolatuk

A robotvezérlés operációs rendszere hasonló feladatokat lát el, mint a személyi számítógépeké (pl. DOS az IBM PC gépeken).
A robotprogram interpreter, vagy compiler alatt futhat (az előbbire a VAL nyelv, az utóbbira az MCL példa).

5.6.1. Koordináta rendszerek, interpolációs módok

A munkadarab felületi pontjából visszafelé elindulva transzformációval meghatározhatók egyes koordináta rendszerek pozíciója és orientációja az alapkoordináta rendszerben. A robotmanipulátorok elmozdulását végző elemeihez is használhatók koordináta rend-szerek. Elemi transzormációk sorozatával ezek helyzete is meghatározható (5.55. ábra.)

O_b: a robot alapkoordináta rendszere
O_w: munkadarab koordináta rendszere
O_t: szerszám koordináta rendszere
O_p: a munkadarab felületi pontjához rendelt koordináta-rendszer
O_e: koordinátarendszer a manipulátor végpontjában



5.55. ábra. Koordináta rendszerek

Interpolációs módok

Robotmozgások során általában a következő interpolációs módok közül választhat a programozó:

- csukló interpoláció
- egyenes interpoláció
- körinterpoláció

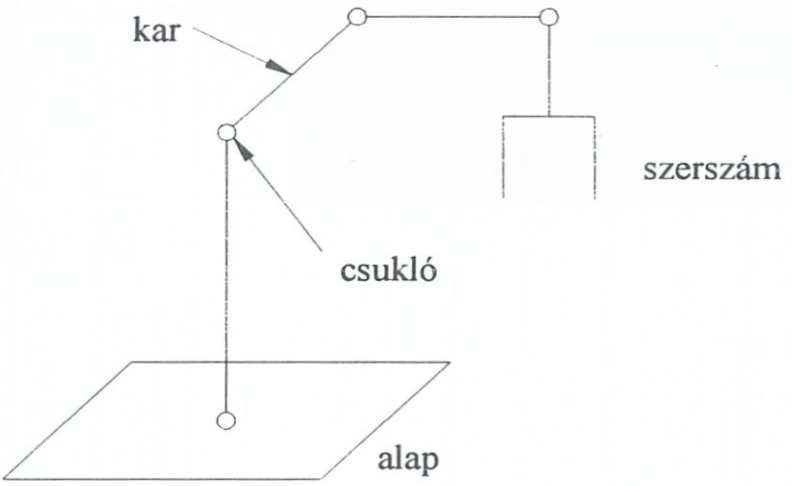
Csukló interpolációnál a vezérlés meghatározza, hogy a célhelyzet eléréséhez mely csuklóknak és mennyi ideig kell mozognia. Kiválasztja a leghosszabb idejűt és az egyes csuklók szögsebességét ezzel az idővel számolja ki. Minden csukló azonos időben kezdi és fejezi be a mozgást, szögsebességük állandó, de nem egyforma.

Lineáris interpoláció alkalmazásakor két pont közötti egyenest a vezérlés növekményekből állít össze. Minden egyes növekményekhez új tengelysebesség (lineáris vagy forgó) tartozik, abból a feltételből, hogy a robot vezérelt pontja rajta maradjon a kívánt egyenesen. Mivel csak diszkrét értékekből- néhány ezred vagy század miliméterből- állítható elő az egyenes ezért az elméletitől el fog térni.
Körinterpoláció esetén hasonló módon, a körpálya valós idejű generálásával történik az interpolálás. *Egyedi mozgás interpolálására* akkor van szükség, ha a robot vezérelt pontját a programozó kézzel végigvezeti a pályán.

5.6.2. Robotok geometriai modellje

A robotok különböző modelljei közül programozási szempontból a legfontosabb a robot geometriai modellje.

Arra a kérdésre kapunk választ, hogyan függ az egyes csuklók koordinátáitól a végberendezés (robot kéz) poziciója és orientációja. Ezt direkt geometriai feladatnak nevezzük. Fontos a fordított eset is: előírjuk a pozíciót és a végső elem orientációját, és ezen feltételből kell az egyes csuklókoordináta értékeket meghaározni. (Inverz geometriai feladat).



5.56.ábra Robot manipulátor modellje

A szükséges módszereket a különböző eltolások és forgatások, az orientációk jellemzési módjai és a homogén transzformációk szolgáltatják. A robot szomszédos szegmensei közötti kapcsolat jellemzésére többféle leírási mód létezik. Ezek közül leggyakrabban a Denavit-Hartenberg alakot használjuk. Inverz geometriai feladat megoldására a dekompozició és a független egyenletek keresésének módszere a legáltalánosabb.

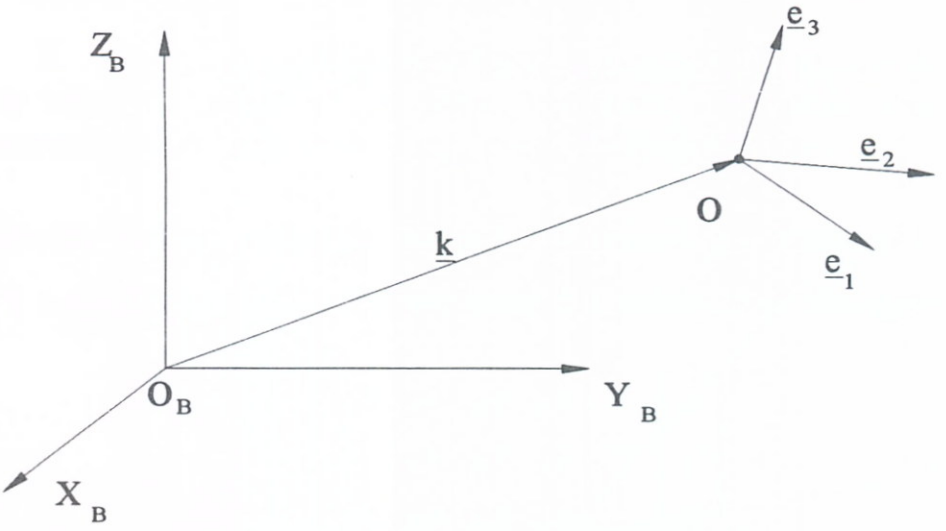
A geometriai modellezéshez használt alapfogalmakat jelöltük az 5.56. ábrán.

5.6.2.1. Elemi transzformációk, homogén koordináták

Programozás szempontjából a robot elemei merev testnek tekinthetők, és pozíciójukat, helyzetüket (orientációjukat) az illető testhez rögzített koordinátarendszer-rel jellemezhetjük. Erre a célra a homogén koordináták és transzformációk előnyösen használhatók.

Tekintsük az 5.57. ábrát:

Az 0_B origójú bázis koordináta rendszerben egy $\underline{k}$ vektor segítségével le tudjuk írni az 0 pontot, mint egy új koordináta rendszer origóját. A $\underline{k}$ vektor semmit nem mond a két koordináta rendszer egymáshoz viszonyított orientációjáról.



5.57. ábra. Koordinátarenszerek és térbeli viszonyuk

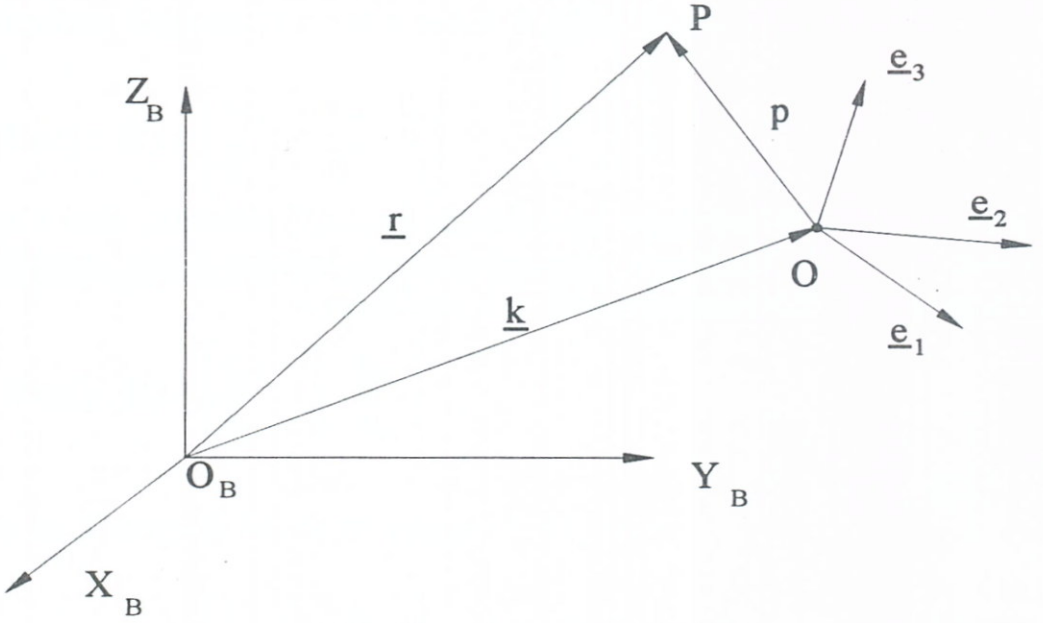
Ez utóbbi jellemezhető a koordináta tengely egységvektorok alaprendszerbeli összetevőivel.

Legyen ezek rendszere $\underline{e1}, \underline{e2}, \underline{e3}$.

Így az új koordináta rendszer helyzetét leíró $\underline{\underline{R}}$ forgató mátrix

$$\underline{\underline{R}} = \begin{bmatrix} e_{1x} & e_{2x} & e_{3x} \\ e_{1y} & e_{2y} & e_{3y} \\ e_{1z} & e_{2z} & e_{3z} \end{bmatrix} \qquad (3)$$

Határozzuk most meg egy P pont pozicióját az alaprendszerben, ha ismerjük az 0 origojú koordinátarendszerben a helyét. (5.58. ábra)



5.58. ábra P pont pozíciója

P helyét az alaprendszerben $\underline{r}$ vektor írja le.

$$\underline{r} = \underline{\underline{R}}\,\underline{p} + \underline{k} \tag{4}$$

Ugyanezt az eredményt kapjuk egyetlen matrix sorzással, ha a $\underline{k}$ pozició vektort negyedik oszlopként a forgatómatrixba írjuk úgy, hogy a $\underline{P}$ 4.elemként 1-et írunk.

$$\begin{bmatrix} r_x \\ r_y \\ r_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} e_{1x} & e_{2x} & e_{3x} & k_x \\ e_{1y} & e_{2y} & e_{3y} & k_y \\ e_{1z} & e_{2z} & e_{3z} & k_z \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} p_1 \\ p_2 \\ p_3 \\ 1 \end{bmatrix} \tag{5}$$

Következő lépésként a 3x4-es mátrixot egy negyedik sorral is kiegészítjük, amely a [0,0,0,1] elemeket tartalmazza.

Így a homogén transzformációt leíró 4x4-es mátrixhoz jutottunk el.

Ha tehát egy adott rendszerben ismert pontot egy másik rendszerben akarunk leírni, akkor a következő összefüggés használható:

$$\begin{bmatrix} r_x \\ r_y \\ r_z \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} e_{1x} & e_{2x} & e_{3x} & k_x \\ e_{1y} & e_{2y} & e_{3y} & k_y \\ e_{1z} & e_{2z} & e_{3z} & k_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} p_1 \\ p_2 \\ p_3 \\ 1 \end{bmatrix} \tag{6}$$

Általánosságban egy P pont homogén koordinátái [x,y,z,t] alakúak, ahol t egy skálázási tényező, esetünkben 1. A homogén transzformáció mátrix tehát magábafoglalja a forgatást (rotációt), az eltolást (transzlációt) és a skálázást is.

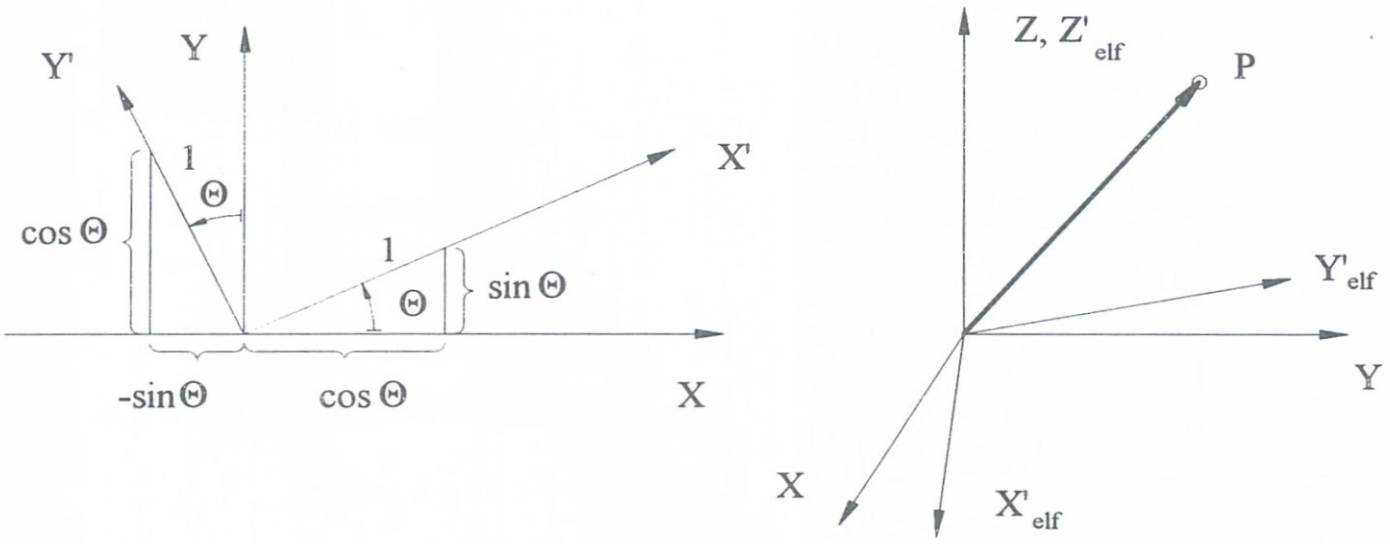
Tömör leírása:

$$T = \left[\begin{array}{c|c} \underline{\underline{R}} & \underline{k} \\ \hline 0\ 0\ 0 & 1 \end{array}\right] \tag{7}$$

5.6.2.2. Forgatás (rotáció)

a) Forgatás a Z tengely körül

Válasszunk közös origojú K és K' koordinátarendszert. Forgassuk el a K' koordinátarndszert a Z tengely körül Θ szöggel 5.59. ábra. Tekintsük a forgatás utáni helyzetet és mindkét koordinátarendszerben ugyanazt a P_{elf} pontot a forgatás után:



5.59. ábra Forgatás a Z tengely körül.

A forgatás transzformációs mátrixa:

$$\mathrm{Rot}(z,\Theta)=\begin{bmatrix}\cos\Theta & -\sin\Theta & 0\\ \sin\Theta & \cos\Theta & 0\\ 0 & 0 & 1\end{bmatrix} \tag{8}$$

Jelöljük a cosinus függvényt c-vel a sinus függvényt pedig s-el

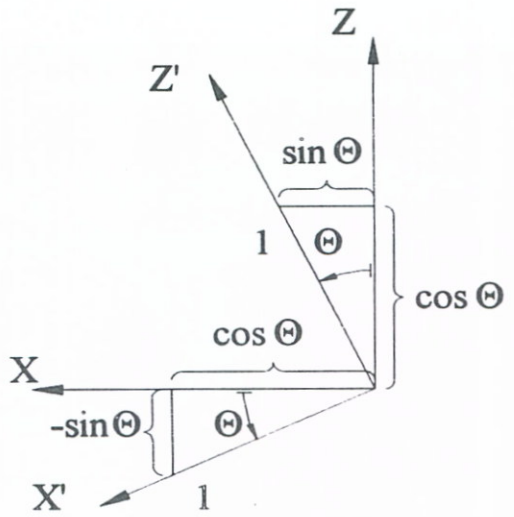
$$\mathrm{Rot}(z,\Theta)=\begin{bmatrix}c_\Theta & -s_\Theta & 0\\ s_\Theta & c_\Theta & 0\\ 0 & 0 & 1\end{bmatrix} \tag{9}$$

b) Forgatás Y tengely körül Θ szöggel 5.60. ábra

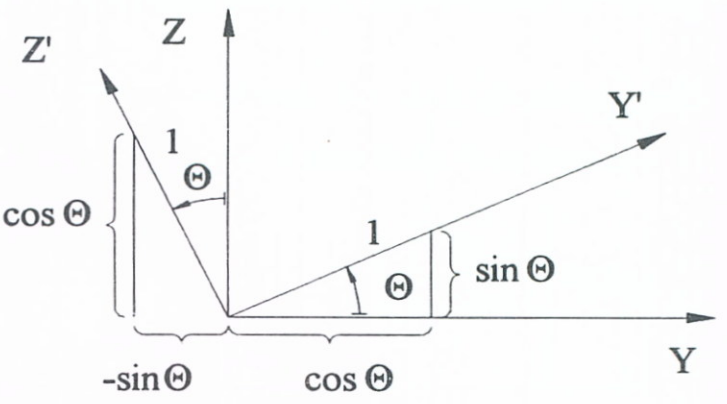
$$\mathrm{Rot}(y,\Theta)=\begin{bmatrix}c_\Theta & 0 & s_\Theta\\ 0 & 1 & 0\\ s_\Theta & 0 & c_\Theta\end{bmatrix} \tag{10}$$

c) Forgatás az X tengely körül Θ szöggel 5.61. ábra

$$\mathrm{Rot}(x,\Theta)=\begin{bmatrix}1 & 0 & 0\\ 0 & c_\Theta & -s_\Theta\\ 0 & s_\Theta & c_\Theta\end{bmatrix} \tag{11}$$



5.60. ábra Forgatás Y tengely körül



5.61.ábra Forgatás X tengely körül

Példaként nézzük a következőt: legyen adva az $\underline{u} = 7\,\underline{i} + 3\,\underline{j} + 2\,\underline{k}$ vektor amelyet 90^o-al forgassunk el a Z tengely körül. Az így kapott vektor legyen $\underline{v}$.

A transzformációs mátrix (9) szerint):

$$\mathrm{Rot}(z,90) = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{12}$$

$$\underline{v} = \mathrm{Rot}\,(z\ 90) * u \tag{13}$$

$$\underline{v} = \begin{bmatrix} -3 \\ 7 \\ 2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 7 \\ 3 \\ 2 \end{bmatrix} \tag{14}$$

Több transzformációt együttesen is alkalmazhatunk: az $\underline{u}$ vektort először y tengely, majd z körül 90^o-al forgassuk el. Az így kapott vektor legyen $\underline{w}$.

$$\underline{w} = \mathrm{Rot}(y,90)\ \mathrm{Rot}(z,90) \tag{15}$$

$$\mathrm{Rot}(y,90)\ \mathrm{Rot}(z,90) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \\ -1 & 0 & 0 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{16}$$

Az eredő transzformációs matrix:

$$Rot(y,90)\ Rot(z,90) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \tag{17}$$

Tehát

$$\underline{w} = \begin{bmatrix} 2 \\ 7 \\ 3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 7 \\ 3 \\ 2 \end{bmatrix} \tag{18}$$

Végezetül alkalmazzunk transzlációt és rotációt együttesen. A transzláció vektora legyen $4\underline{i} - 3\underline{j} + 7\underline{k}$. A forgatás először y, majd z tengely körül legyen 90^o-os, az így kapott vektor: $\underline{x}$.

$$\underline{x} = \text{Trans}\,(4,-3,7)\ \text{Rot}\,(y,\ 90)\ \text{Rot}(z,90) \tag{19}$$

$$\begin{bmatrix} 6 \\ 4 \\ 10 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 4 \\ 0 & 1 & 0 & -3 \\ 0 & 0 & 1 & 7 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 7 \\ 3 \\ 2 \\ 1 \end{bmatrix} \tag{20}$$

$\underline{x}$ Trans (4,-3,7) Rot (y,90) Rot (z,90) $\underline{u}$

5.6.2.3. Tárgyak leírása homogén koordinátákkal

A robot manipulátor mozgatásakor nagyon fontos a mechanikai testek és ezek részleteinek, elemeinek a helyzete. A mozgatni kívánt testeket síkfelülettel közelíthetjük és leírásuk 4xn mátrixokkal történhet, ahol az n a tárgy csúcspontjainak a száma.

Az eredmény gyakorlatilag

$[x\ y\ z\ 1]^T$ alakú pozició vektor. A csupa síkfelületből álló tárgy jellemzésére használt mátrixok alakja:

$$\text{TEST} = \begin{bmatrix} x_o & x_1 & \ldots\ldots & x_{n-1} \\ y_o & y_1 & \ldots\ldots & y_{n-1} \\ z_o & z_1 & \ldots\ldots & z_{n-1} \\ 1 & 1 & \ldots\ldots & 1 \end{bmatrix} \tag{21}$$

Ha a testet forgatjuk, eltoljuk akkor az új test a következőképpen adódik:

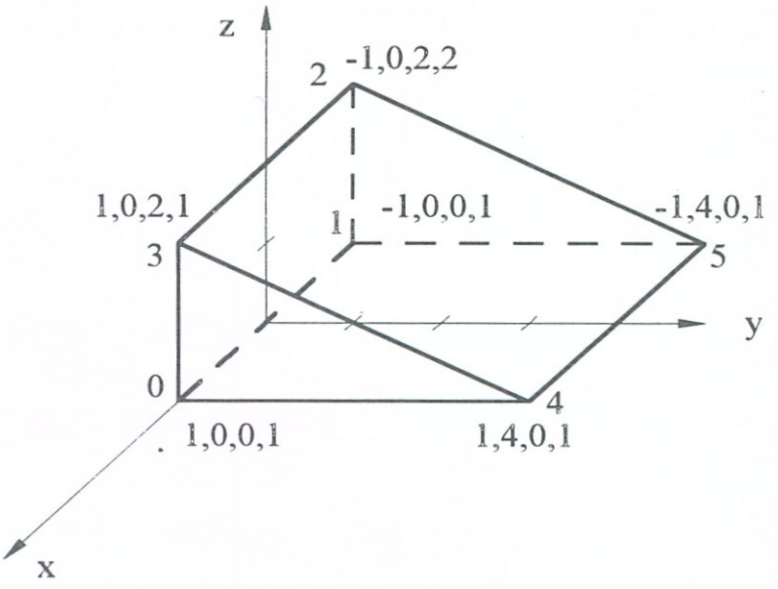
$$\underline{\underline{\text{TEST}}}\text{új} = T * \underline{\underline{\text{TEST}}} \tag{22}$$

azaz

$$\begin{bmatrix} x_{0,\text{új}} & x_{1,\text{új}} & \ldots\ldots & x_{n-1,\text{új}} \\ y_{0,\text{új}} & y_{1,\text{új}} & \ldots\ldots & y_{n-1,\text{új}} \\ z_{0,\text{új}} & z_{1,\text{új}} & \ldots\ldots & z_{n-1,\text{új}} \\ 1 & 1 & \ldots\ldots & 1 \end{bmatrix} = \left[\begin{array}{ccc|c} & \underline{\underline{R}} & & \underline{k} \\ - & - & - & - \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{array}\right] * \begin{bmatrix} x_o & x_1 & \ldots\ldots & x_{n-1} \\ y_0 & y_1 & \ldots\ldots & y_{n-1} \\ z_0 & z_1 & \ldots\ldots & z_{n-1} \\ 1 & 1 & \ldots\ldots & 1 \end{bmatrix} \tag{23}$$

Legyen adott az 5.62.ábrán látható test.

Transzformáljuk a hasábot a következőképpen: négy egységnyi transzláció az x tengely mentén, 90°-os forgatás az y és z tengelyek körül. Az eredmény az 5.63. ábrán látható.



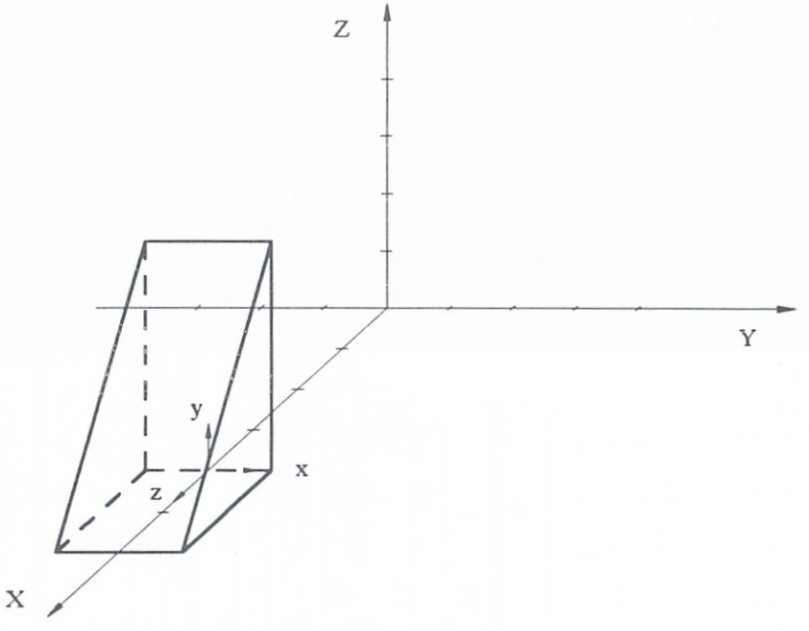
5.62.ábra. Test

Az eredő transzformációs mátrix:

$$\mathbf{T} = \text{Trans}(4,0,0)\ \text{Rot}(y,90)\ \text{Rot}(z,90) \tag{24}$$

$$T = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 4 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 4 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{25}$$

$$TEST = \begin{bmatrix} 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 4 & 4 \\ 0 & 0 & 2 & 2 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \tag{26}$$



5.63. ábra A transzformált test

$$\text{TEST új} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 4 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 4 & 4 \\ 0 & 0 & 2 & 2 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 4 & 4 & 6 & 6 & 4 & 4 \\ 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 4 & 4 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (27)$$

5.6.2.4. Inverz transzformáció

Inverz transzformáció esetén a transzformált koordinátarendszert kell visszatranszformálni az eredetibe.

Legyen **T** a homogén koordináta transzformáció mátrixa és a transzformáció álljon **R** rotációból és k transzlációból.

Ebben az esetben a **T** inverze:

$$T = \left[\begin{array}{ccc|c} & \underline{\underline{R}} & & \underline{k} \\ \hline 0 & 0 & 0 & 1 \end{array}\right] \quad (28)$$

$$T^{-1} = \left[\begin{array}{ccc|c} & R^T & & -R^T k \\ \hline 0 & 0 & 0 & 1 \end{array}\right] \quad (29)$$

Az 5.62. ábrán bemutatott transzformációs példa inverze:

$$R = \text{Rot}(y,90)\ \text{Rot}(z,90) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (30)$$

$$\underline{k} = [4,0,0] \quad (31)$$

$$R^T = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (32)$$

$$-R^T k = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \\ -1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 4 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -4 \end{bmatrix} \quad (33)$$

$$T^{-1} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & -4 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{34}$$

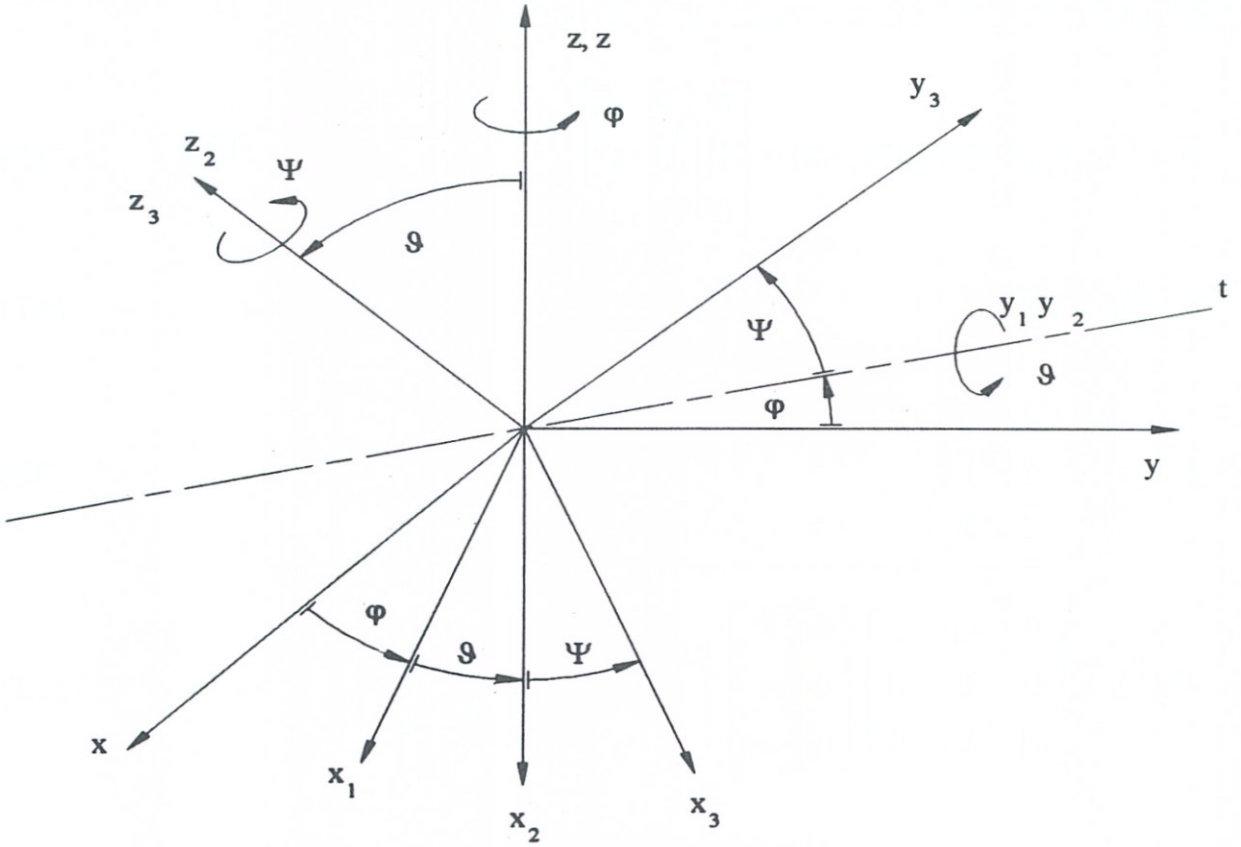
Transzformáljuk vissza az elforgatott és eltolt $\mathbf{TEST_{új}}$-at:

$$TEST = T^{-1}TEST_{új}$$

$$\begin{bmatrix} 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 4 & 4 \\ 0 & 0 & 2 & 2 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & -4 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 4 & 4 & 6 & 6 & 4 & 4 \\ 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 4 & 4 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

5.6.2.5. Az orientáció jellemzése Euler-szögekkel

Egy merev test, illetve egy hozzákötött koordinátarendszer orientációját (térbeli szög helyzetét) többféle módon írhatjuk le. Ezek közül az egyik leggyakrabban alkalmazott megoldás az Euler-szögek alkalmazásával történik. Ehhez nézzük meg az 5.64.ábrát. Az eredeti K koordináta rendszerből kell eljutnunk a K_3 új koordinátarendszerbe. Ehhez



5.64. ábra. Euler-szögek

három speciális forgatást kell elvégeznünk.

Legyen a "t" egyenes az [x,y] és [x_3,y_3] síkok metszésvonala.

Tegyük a következőt:

- Vegyünk fel egy K_1 koordinátarendszert, amely K-val egybeesik.
- Forgassuk el a K_1 koordinátarendszert Z körül φ szöggel úgy, hogy y_1 és t essenek egybe.
- Válasszunk egy K_2 koordinátarendszert, amely K_1-el esik egybe.
- Tekintsük adottnak a Z_3 irányát.
- Forgassuk el a K_2-es rendszert y_1 körül ν szöggel, úgy, hogy Z_2 essen egybe Z_3-al.
- Válasszunk egy K_3 koordinátarendszert, amely K_2-vel esik egybe.
- Forgassuk el a K_3-at Z_2 körül ψ szöggel úgy, hogy y_3 az előre adottal essen egybe.

Tehát:

$$\begin{bmatrix} x_2 \\ y_2 \\ z_2 \end{bmatrix} = Rot(z_2, \psi) \begin{bmatrix} x_3 \\ y_3 \\ z_3 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \end{bmatrix} = Rot(y_1, \vartheta) \begin{bmatrix} x_2 \\ y_2 \\ z_2 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = Rot(z\varphi) \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \end{bmatrix}$$

azaz

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = Rot(z,\varphi) Rot(y_1,\vartheta)\, Rot(z_2,\psi) \begin{bmatrix} x_3 \\ y_3 \\ z_3 \end{bmatrix}$$

$$Euler(\varphi,\vartheta,\psi) = Rot(z,\varphi) Rot(y_1,\vartheta)\, Rot(z_2,\psi) =$$

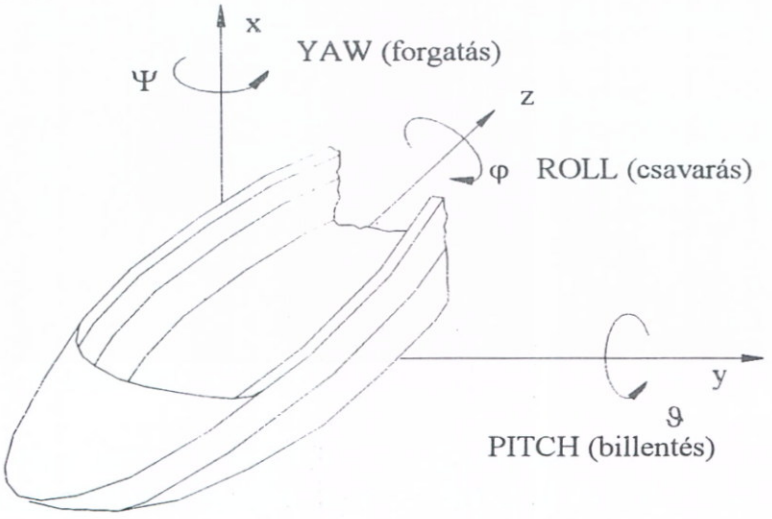
$$= \begin{bmatrix} c_\varphi & -s_\varphi & 0 \\ s\varphi & c_\varphi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_\vartheta & 0 & s_\vartheta \\ 0 & 1 & 0 \\ -s_\vartheta & 0 & c_\vartheta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_\psi & -s_\psi & 0 \\ s_\psi & c_\psi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} =$$

$$= \begin{bmatrix} c_\varphi c_\vartheta - s_\varphi s_\psi & -c_\varphi c_\vartheta - s_\varphi c_\psi & c_\varphi s_\vartheta \\ s_\varphi c_\vartheta + c_\varphi s_\psi & -c_\varphi c_\vartheta + c_\varphi c_\psi & c_\varphi s_\vartheta \\ -s_\vartheta c_\psi & s_\vartheta s_\psi & c_\vartheta \end{bmatrix}$$

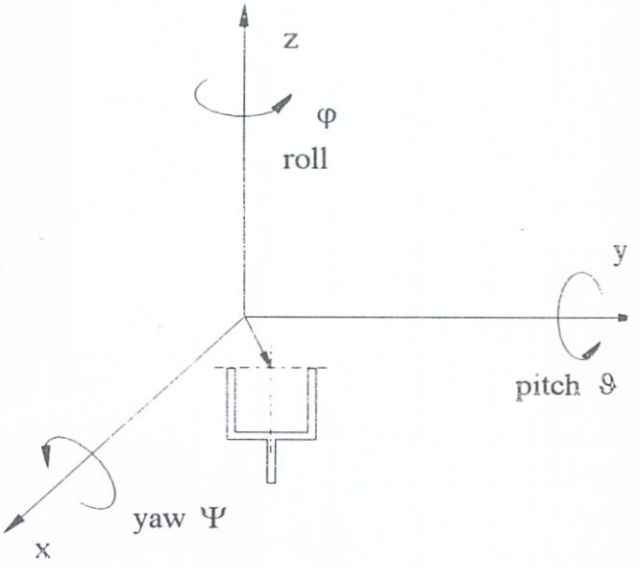
5.5.2.6. Orientáció jellemzése RPY szögekkel

Az orientáció jellemzésének másik módja ROLL (csavarás), PITCH (billenés), YAW (forgatás) szögek segítségével történhet. A szavak eredete a hajózásból származik.

Az Euler-szögekhez képest az az eltérés, hogy a harmadik forgatás az x_2 tengely körül történik



5.65. ábra. RPY szögek



5.66. ábra. A robotkéz RPY szögei

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \text{Rot}(z,\varphi)\,\text{Rot}(y_1,\vartheta)\,\text{Rot}(x_2,\psi)\begin{bmatrix} x_3 \\ y_3 \\ z_3 \end{bmatrix}$$

$$\text{RPY}(\varphi,\ \vartheta,\ \psi) = \text{Rot}(z,\ \varphi)\,\text{Rot}(y_1,\vartheta)\,\text{Rot}(x_2,\psi) =$$

$$= \begin{bmatrix} c_\varphi & -s_\varphi & 0 \\ s_\varphi & c\varphi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} c_\vartheta & 0 & s_\vartheta \\ 0 & 1 & 0 \\ -s_\vartheta & 0 & c_\vartheta \end{bmatrix}\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & c_\psi & -s_\psi \\ 0 & s_\psi & c_\psi \end{bmatrix} =$$

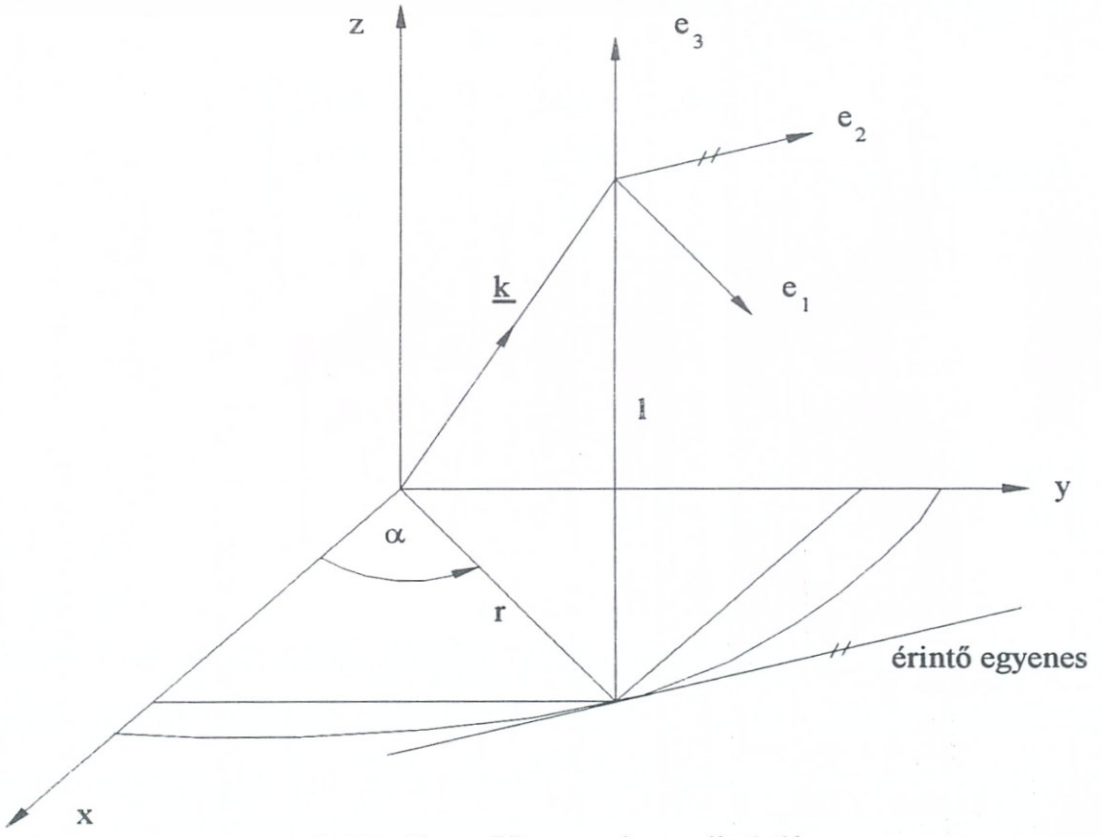
$$= \begin{bmatrix} c_\varphi c_\vartheta & c_\varphi s_\vartheta c_\psi - c_\varphi c_\psi & c_\varphi c_\vartheta c_\psi + c_\varphi s_\psi \\ s_\varphi c_\vartheta & c_\varphi s_\vartheta s_\psi + c_\varphi c_\psi & s_\varphi s_\vartheta c_\psi - c_\varphi s_\psi \\ -s_\vartheta & c_\vartheta s_\psi & c_\vartheta c_\varphi \end{bmatrix}$$

5.6.2.7. Nem derékszögű koordináták

Az eddigiekben derékszögű x,y,z koordináta értékekkel fejeztük ki a tárgyak térbeli pozicióját. Egyes esetekben célszerű lehet azonban henger illetve gömbi koordináták használata.

5.6.2.7.1. Hengerkoordináták

Egy test referencia pontjának hengerkoordinátákkal adott poziciója előállítható egy x tengely menti r transzlációból, egy Z tengely körüli α elfordulásból és egy z tengely menti l transzlációból.



5.67. ábra. Henger koordináták

$$HENG\ (l, \alpha,\ r) = \text{Trans}\ (0,0,l)\ \text{ROT}\ (z, \alpha)\ \text{Trans}\ (r,0,0)$$

$$\text{Trans}\ (0,0,l) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & l \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$Rot\ (z, \alpha) = \begin{bmatrix} \cos\alpha & -\sin\alpha & 0 & 0 \\ \sin\alpha & \cos\alpha & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$Trans(r,0,0) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & r \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Az eredményül kapott transzformáció:

$$HENG(1,\alpha,r) = \begin{bmatrix} \cos_\alpha & -\sin_\alpha & 0 & r\cdot\cos_\alpha \\ \sin_\alpha & \cos_\beta & 0 & r\cdot\sin_\alpha \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} e_{1x} & e_{2x} & e_{3x} & k_x \\ e_{1y} & e_{2y} & e_{3y} & k_y \\ e_{1z} & e_{2z} & e_{3z} & k_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_\alpha & -s_\alpha & 0 & r\cdot c_\alpha \\ s_\alpha & c_\alpha & 0 & r\cdot s_\alpha \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

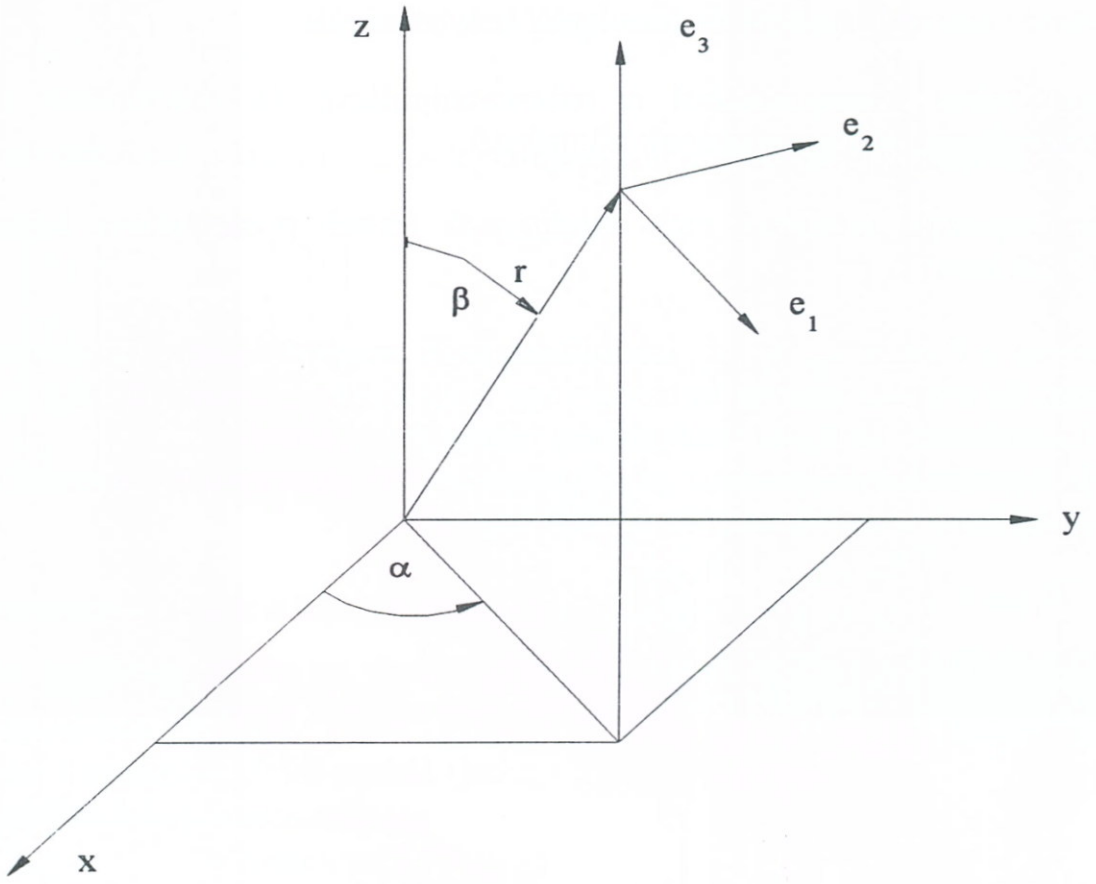
Ha a mátrix oszlopvektorait elemezzük, akkor látható, hogy az $\underline{e}_1$ az r sugarú henger palástjára merőleges vektor, az $\underline{e}_2$ a palást érintőjének irányába mutat, míg az $\underline{e}_3$ a henger egyik alkotója, és mindhárom vektor áthalad a [k_x, k_y, k_z] ponton. Számos olyan robottípus van, amelynek alapmozgását hengerkoordinátákkal írhatjuk le.

5.6.2.7.2. Gömbkoordináták

A másik gyakran használt nem derékszögű rendszer a gömbkoordináták rendszere. Ebben az esetben a pozició vektort a z tengely menti r transzláció, az ezt követő y tengely körüli β rotáció és végül a z tengely körüli α rotáció határozza meg. (5.68.ábra)

GÖMB (α, β, r)= Rot (z,α) Rot (y,β) Trans (0,0,r)

$$Rot(z,\alpha) = \begin{bmatrix} \cos\alpha & -\sin\alpha & 0 & 0 \\ \sin\alpha & \cos\alpha & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$



5.68. ábra. Gömbkoordináták

$$Rot(y,\beta) = \begin{bmatrix} cos\,\beta & \phi & sin\,\beta & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -sin\,\beta & 0 & cos\,\beta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$Trans\ (0,0,r) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Az eredményül kapott homogén transzformáció:

$$G(\alpha,\beta,r) = \begin{bmatrix} e_{1x} & e_{2x} & e_{3x} & k_x \\ e_{1y} & e_{2y} & e_{3y} & k_y \\ e_{1z} & e_{2z} & e_{3z} & k_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\alpha & -\sin\alpha & \cos\alpha\sin\beta & r\cos\alpha\sin\beta \\ \sin\alpha\cos\beta & \cos\alpha & \sin\alpha\sin\beta & r\sin\alpha\sin\beta \\ -\sin\beta & 0 & \cos\beta & r\cos\beta \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

5.6.2.8. Relatív transzformáció és homogén koordináták

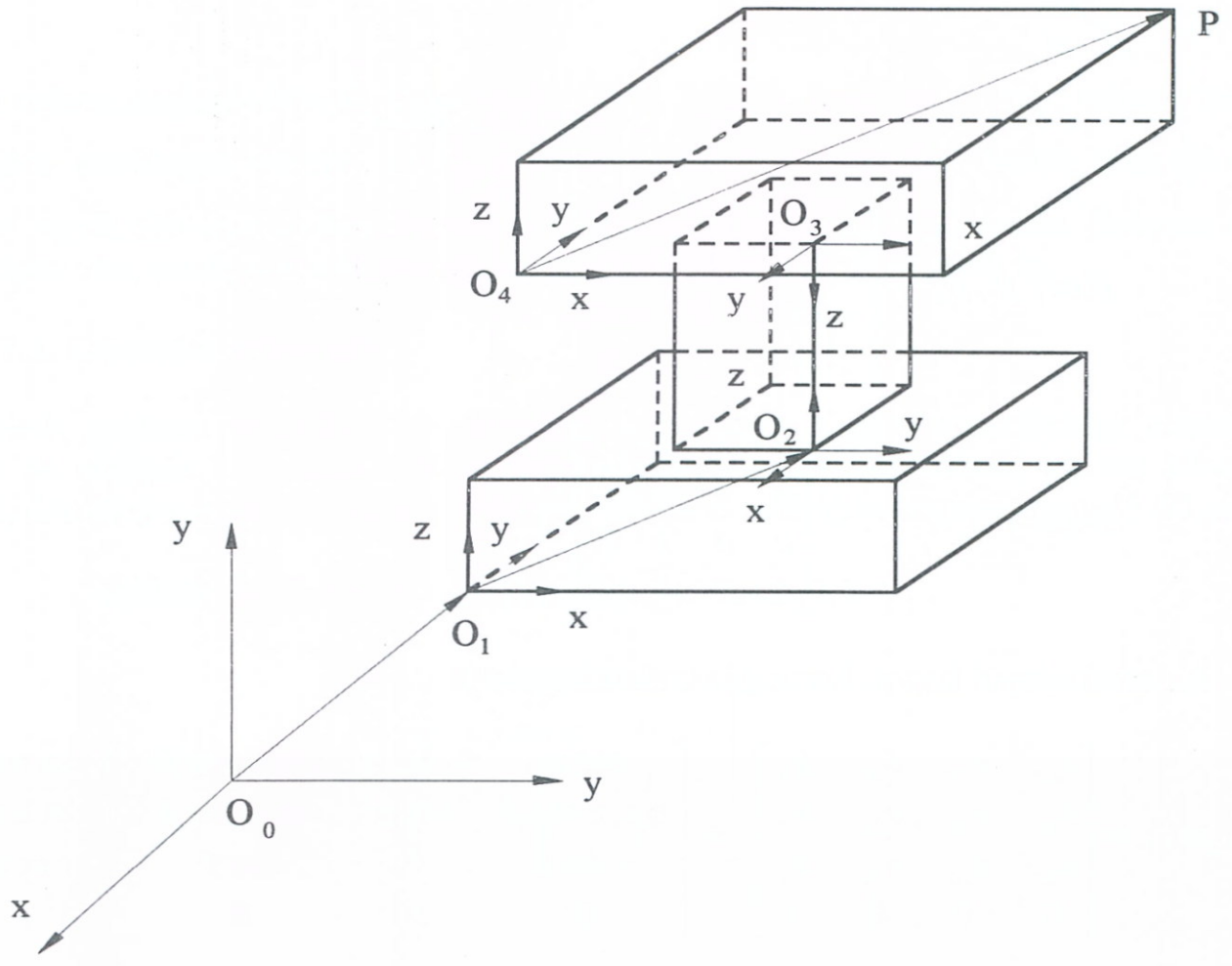
Matematikai leírás szempontjából a robotmanipuláció (a robotkarok mozgatása) homogén transzformációk sorozatának tekinthető.

A mozgás célpontjai általában más objektumok térbeli poziciójához képest vannak megadva, (5.69.ábra)

Feladat legyen a P pont x_p, y_p, z_p koordinátájának meghatározása, az alaprendszerben (0_o). Vegyünk fel minden testhez tartozóan egy koordinátarendszert (0_o, 0_1, 0_2, 0_3, 0_4).
A P pont koordinátáit az 0_4-es rendszerben tekintjük ismertnek.
Az (i+1)-ik koordinátarendszernek az i-ik rendszerhez viszonyított helyzetét (pozicióját és orientációját) leíró transzformációs mátrix legyen **T.**

$$T_{i,\,i+1} = \begin{bmatrix} R_{i,\,i+1} & k_{i,\,i+1} \\ 0\ 0\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Az eredményül kapott transzformációs mátrix, amely az utolsó rendszer helyzetét az alaprendszerhez képest írja le, az összetevő transzformációk sorozata.



5.69.ábra. Relatív transzformációk

$$\mathbb{T}_n = \prod_{i=0}^{n-1} \mathbb{T}_{i,\,i+1}$$

Így a P pont abszolút poziciója az n-ik rendszerbeli poziciójával kifejezve:

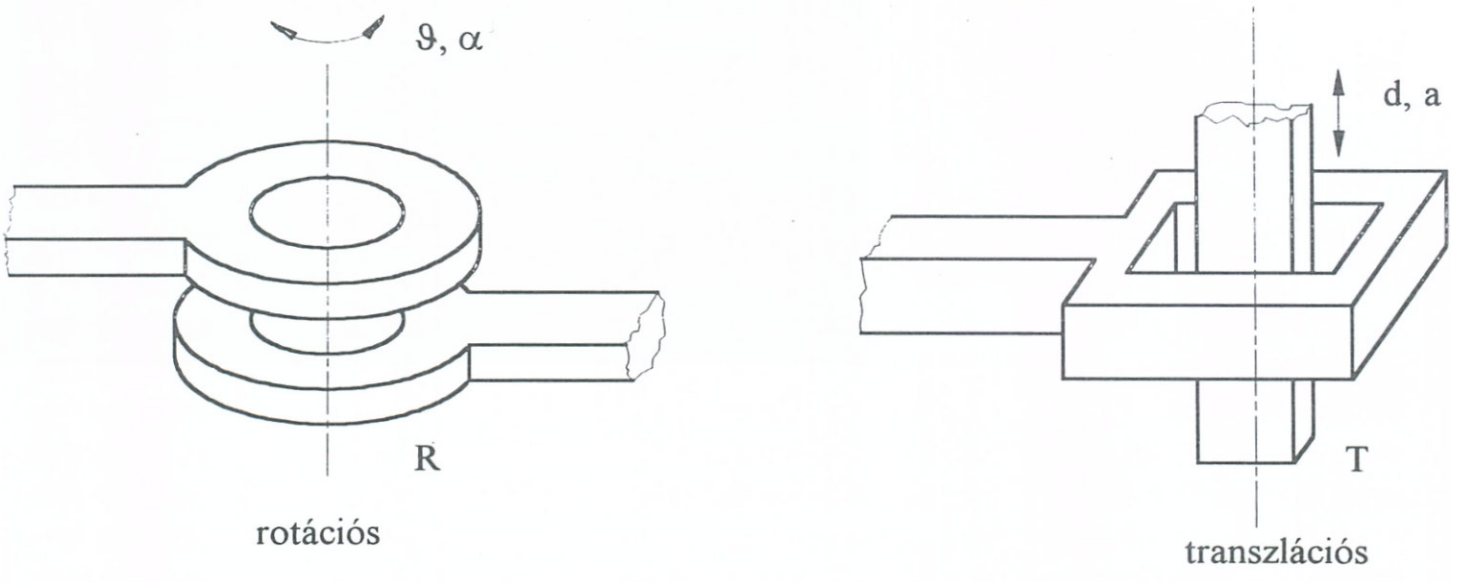
$$\begin{bmatrix} x_p \\ y_p \\ z_p \\ 1 \end{bmatrix} = T^n * \begin{bmatrix} x_p^n \\ y_p^n \\ z_p^n \\ 1 \end{bmatrix}$$

5.6.2.9. Transzformációk a kinematikai lánc mentén

A merev, nyilt láncú, elágazás nélküli robotok szegmensekből (tag, link) és végberendezésekből állnak (end effector, megfogó, gripper). A szomszédos szegmenseket 1 szabadságfokú csukló (joint, izület) köti össze.

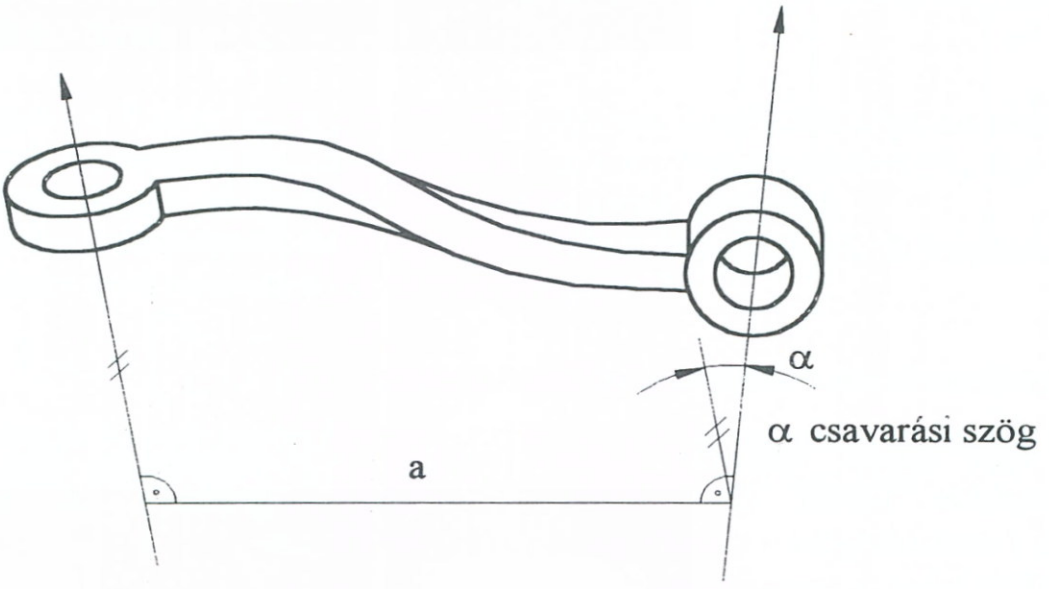
Az izület kétféle lehet: • transzlációs
• rotációs (5.70.ábra)

A transzlációs csukló egy tengely irányú elmozdulást, a rotációs egy tengely körüli elfordulást tesz lehetővé. Az α, ν, a, d paramétereket csuklóváltozóknak nevezzük. A robot szegmenseit mindig pontosan egy szegmens követi, az utolsó m-ik után a végberendezés következik. Az i-k szegmens poziciója csak a megelőzőek orientációjától és poziciójától illetve az i és i-1-ik csukló közötti csuklóváltozók értékétől függ.

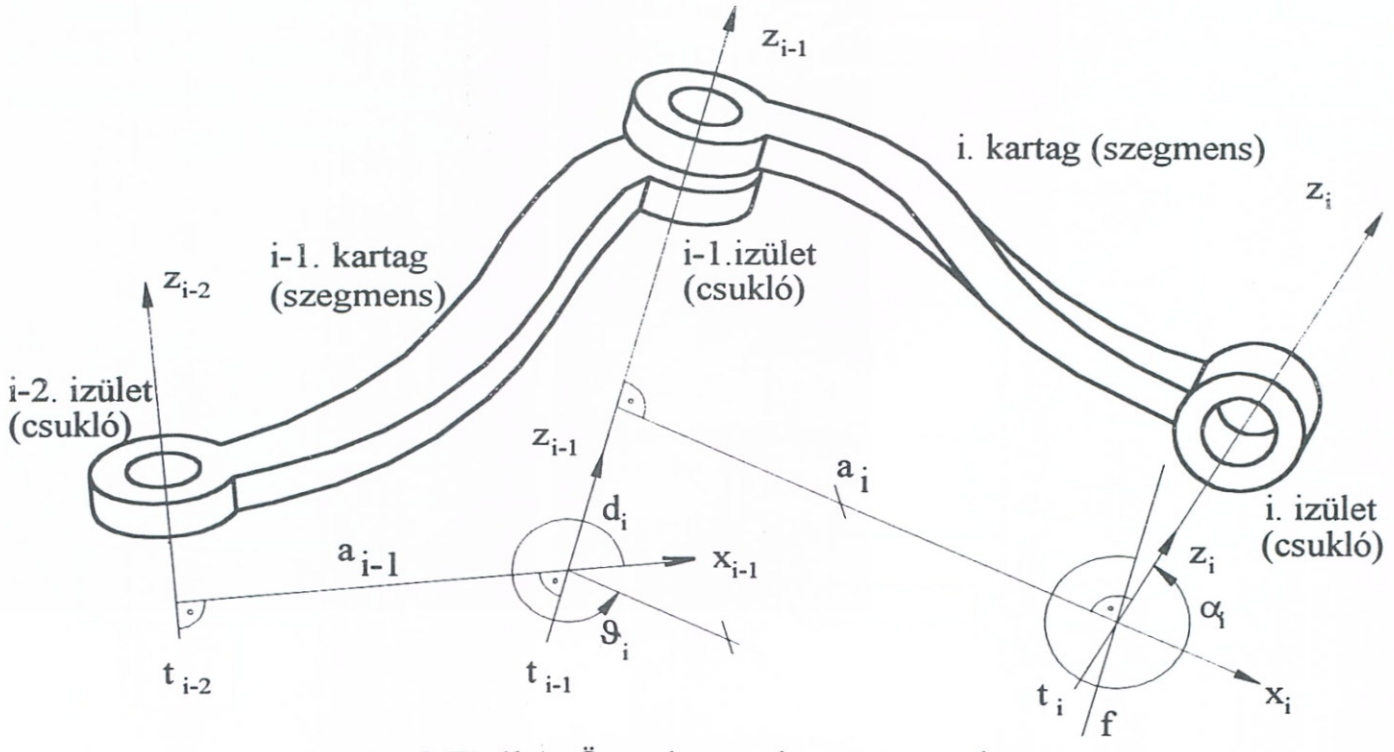


5.70.ábra. Csukló típusok

Az 5.71. ábrán példként egy szegmens a 5.72. ábrán pedig az összekapcsolt kartagok láthatók.



5.71.ábra Szegmens



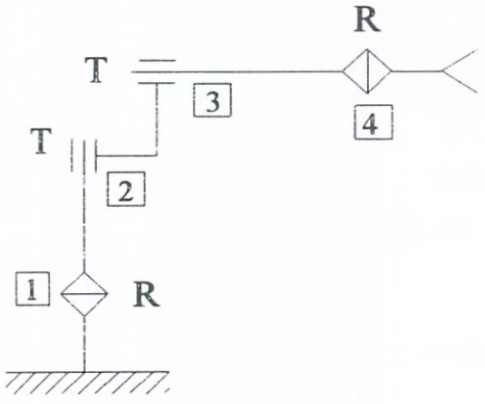
5.72.ábra Összekapcsolt szegmensek

Az m db egy szabadságfokú csuklóból álló robot szabadságfoka legfeljebb m. Szokásos a robot szabadságfokait csuklókészlettel jelölni, amely egyszerűen a csuklók felsorolása a kinematikai láncban.

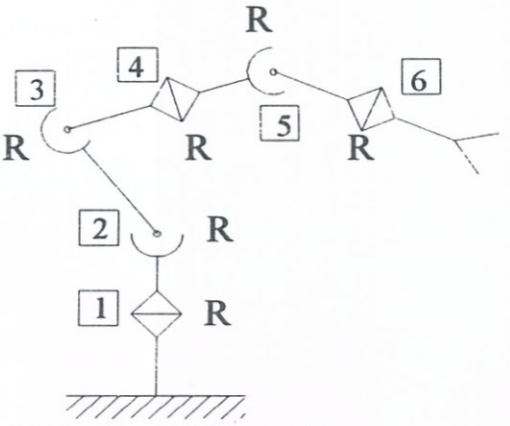
pl: R: rotációs izület
T: transzlációs izület

Négyszabadságfokú hengerkoordinátás robot: RTTR

Hatszabadságfokú humanoid robot: RRRRRR



5.73. ábra RTTR robot



5.74. ábra RRRRRR robot

A megfogónak a bázishoz képesti orinentációját és pozicióját szabadon legalább 6 csuklóval befolyásolhatjuk (m≥6). A robot azonban véges geometriai méretei miatt csak a munkatérben pozicionálható.

A pozicionálásban fő szerepet játszó szegmenseket (1,2,3) karnak, az orientációban szerepet játszó (4,5,6) szegmenseket kézcsuklónak, a végberendezést pedig kéznek szokás nevezni.

A robotok vezérelt pontja a végberendezések felerősítő felületeinek referencia pontja.

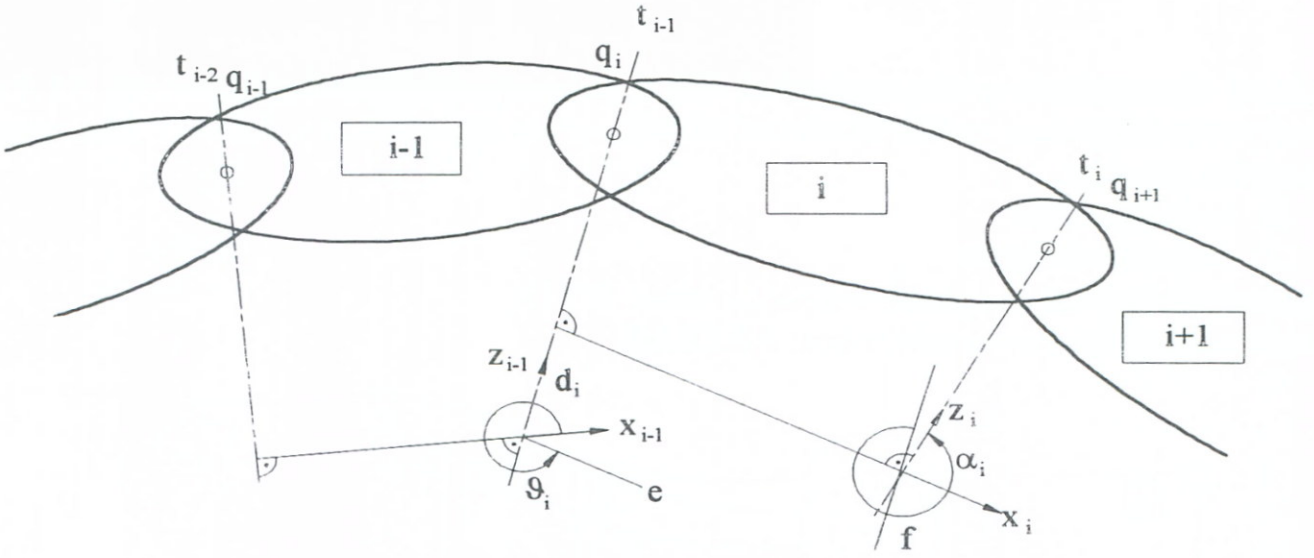
5.6.2.10. Denavit-Hartenberg alak [7]

Az egyes szegmensek pozíciójának és orientációjának a meghatározására többféle eljárást dolgoztak ki, ezek közül a Denavit-Hartenberg módszer a legáltalánosabban használt.(1955)

Tekintsük az 5.75. ábrát.

Denavit-Hartenberg alak esetén a mindenkori z tengely irány megegyezik a vizsgált csuklók tengelyének irányával, csukló koordináta a d (transzláció) és υ (rotáció). D-H paraméter a d, a, υ, α.

Tételezzük fel, hogy az i-1-ik szegmenst ismerjük. A Z_{i-1} tengely iránya megegyezik az i-1 és i szegmens közötti csukló tengelyének irányával. Legyen t_i az i és i+1 szegmensek közötti csukló tengelyének iránya. Legyen az x_i tengely t_{i-1} és t_i tengelyekre merőleges. (Kitérő egyenesek normál tranzverzálása. Csak egyetlen ilyen egyenes van, az x_i és a t_i metszéspontja egyértelműen definiált). Az origó az x_i és t_i metszéspontjában van.



5.75. ábra Denavit-Hartenber alak

Egyezzen meg a Z_i iránya t_i irányával. Az i-1-k origóba az x_i tengellyel (e), és az i-ik origóban Z_{i-1} tengellyel húzzunk párhuzamost (f).

A következők adódnak:

- ν_i az a szög amellyel a Z_{i-1} tengely körül el kell forgatni az x_{i-1} tengelyt úgy, hogy az e egyenesbe kerüljön ($e \| x_i$)
- d_i az a távolság, amennyivel el kell tolni az e egyenest a Zi_{-1} mentén, hogy az x_i tengelybe kerüljön.
- d_i az a távolság, amivel a z_{i-1} és az x_i tengely metszéspontját el kell tolni x_i mentén, hogy az i-ik origóba kerüljön.
- α_i az a szög, amellyel az f egyenest el kell forgatni x_i körül, hogy a z_i tengelybe kerüljön.

Ezen lépések után az i-1-ik tagról átkerültünk az i-ikre. A szögek előjele pozitív a jobbcsavar irányban történő elforgatáskor.

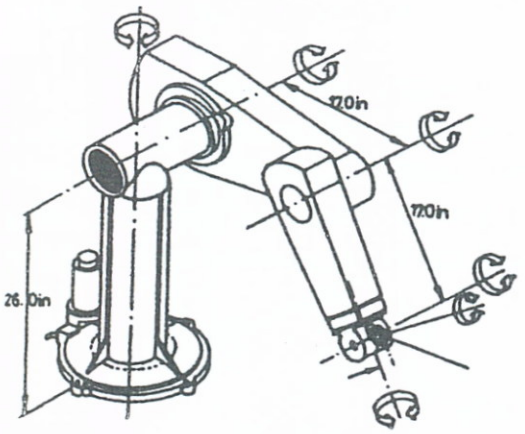
A transzformációs mátrix

$$T_{i-1,i} = \text{Rot}(Z, \vartheta_i)\ \text{Trans}(Z, d_i)\ \text{Trans}(x, a_i)\ \text{Rot}(x, \alpha_i)$$

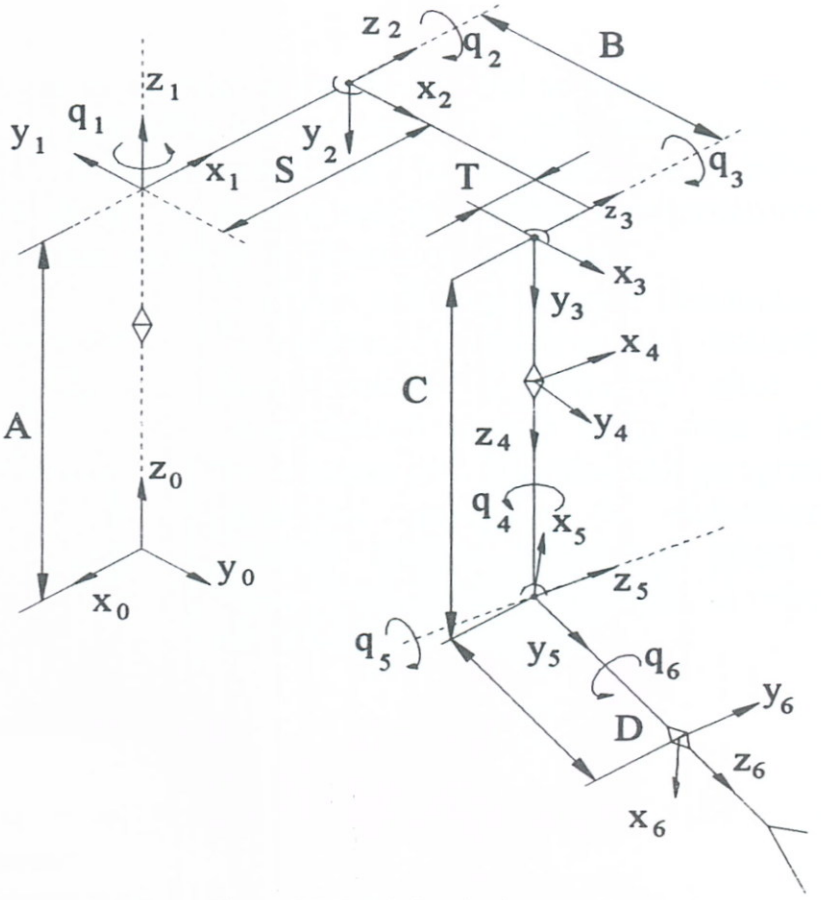
$$T_{i-1,i} = \begin{bmatrix} c_{\vartheta i} & -s_{\vartheta i} & 0 & 0 \\ s_{\vartheta i} & c_{\vartheta i} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & a_i \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & c_{\alpha i} & -s_{\alpha i} & 0 \\ 0 & s_{\alpha i} & c_{\alpha i} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} =$$

$$= \begin{bmatrix} c_{\vartheta i} & -s_{\vartheta i} c_{\alpha i} & s_{\vartheta i} s_{\alpha i} & a_i c_{\vartheta i} \\ s_{\vartheta i} & c_{\vartheta i} c_{\alpha i} & -c_{\vartheta i} s_{\alpha i} & a_i s_{\vartheta i} \\ 0 & s_{\alpha i} & c_{\alpha i} & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Példaként nézzük meg a hat szabadságfokú humanoid robot izületi transzformációit. (Szokásos elemzés még: PUMA Programable Universal Machine for Assembly)



5.76. ábra: PUMA robot



5.77. ábra PUMA izületi koordinátái

A robot paraméterei, D-i-t változói a következő módon adódnak:

tag	0	1	2	3	4	5	6
α_i	-	0°	q_2	q_3	0°	q_5	0°
ν_i	-	q_1	0°	0°	q_4	0°	q_6
a_i	0	S	T	0	0	0	0
b_i	0	0	B	C	0	0	0

Transzformációs mátrixok:

$$A_{0,1} = \begin{bmatrix} c_{q1} & -s_{q1} & 0 & 0 \\ s_{q1} & c_{q1} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A_{1,2} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & c_{q2} & -s_{q2} & 0 \\ 0 & s_{q2} & c_{q2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A_{2,3} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & T \\ 0 & c_{q3} & -s_{q3} & 0 \\ 0 & s_{q3} & c_{q3} & B \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A_{3,4} = \begin{bmatrix} c_{q4} & -s_{q4} & 0 & 0 \\ s_{q4} & c_{q4} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & C \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

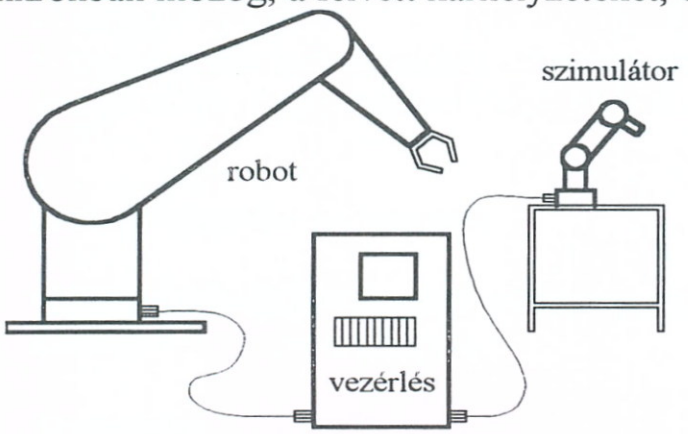
$$A_{4,5} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & c_{q5} & -s_{q5} & 0 \\ 0 & s_{q5} & c_{q5} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A_{4,5} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & c_{q5} & -s_{q5} & 0 \\ 0 & s_{q5} & c_{q5} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A_{0,6} = A_{0,1} * A_{1,2} * A_{2,3} * A_{3,4} * A_{4,5} * A_{5,6}$$

5.6.3. Robotprogramozás módjai

A robotprogramozás általában szöveges és nemszöveges módszerrel történhet. A nemszöveges programozás során a robotot a különféle elmozdulásokra a felhasználó valamilyen berendezés segítségével "betanítja". A berendezés lehet a kezelő tasztatúra, a külön szimulátornak nevezett egység is (5.78. ábra). Az utóbbi esetben a robot a szimulátorral szinkronban mozog, a felvett karhelyzeteket, csuklókoordinátákat megjegyzi.



5.78. ábra: Programozás szimulátorral

Nagyon sok ipari robotot betanításos módszerrel programoznak, különösen azokon a helyeken ahol a mozgásokat hosszú ideig nem kell változtatni. Az így elkészült program nehezen javítható és dokumentálható. Szintén nehézséget jelent a szenzorok jeleinek figyelése, a robot külvilághoz illesztése.

Ezeket a problémákat küszöböli ki a magasszintű programnyelvek használata. A programozásnak két nagy csoportja ismert:

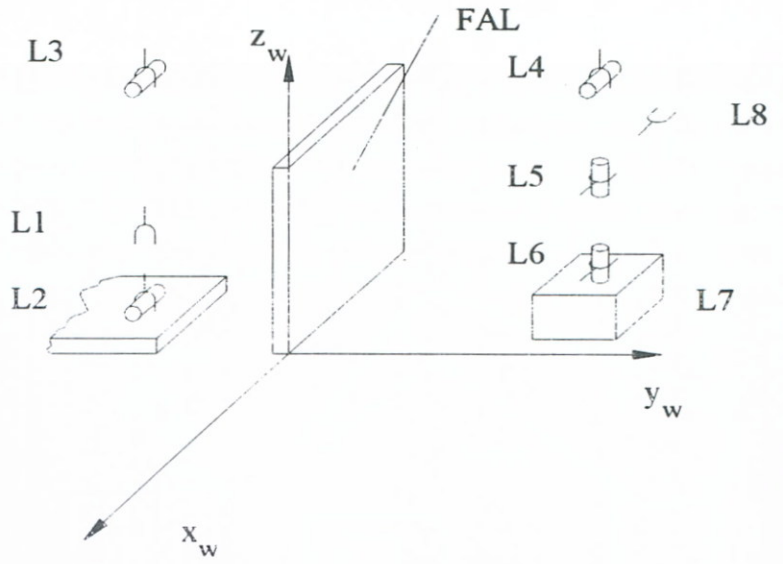
a) manipulátor szintű programozás
b) feladat orientált programozás.

Manipulátorszintű programozásnál kétféleképpen járhatunk el:

- közvetlenül az egyes csukló szögeket mint tengelykoordinátákat programozzuk.
  Pl: JMOVE q1, q2, q3, q4, q4, q6
  q1...6= az egyes csuklók szögelfordulásai.
  Ebben az esetben a szükséges transzformációkat - amelyek eredményei a q szögek értékei - a felhasználónak kell elvégeznie.
- célhelyzetet, előre felvett, vagy programban számolt pontot adnak megmozgás végpontként.

Pl: MOVE X,Y,Z,Θ,Φ,Ψ
X,Y,Z, a robot vezérelt pontjának koordinátája
Θ,Φ, Ψ a szerszámnak, vagy robotkarnak a helyzetét meghatározó Euler szögek.
Legyen a feladat a (5.79.) ábrán látható: az SZ szállítószalagon érkező csapokat a K kockába kell illeszteni. Az egyes pontokat (L1-L8) előzetesen felvettük.
Az egyszerűsített program:
MOVE L1, a csap megközelítése
MOVE L2, a csap fölé állás
CLOSE, a megfogó zárása
MOVE L3, az akadály fölé emelés
MOVE L4, mozgás a furat fölé

MOVE L5, szerelési helyzet fölvétele
MOVE L6, a furat és a csap illesztése
MOVE L7, illesztés egyenes mentén
OPEN a megfogó nyitása
MOVE L8, végső helyzetbe mozgás



5.79. ábra: Példa a manipulátor szintű programozásra

Legismertebb programnyelvek és fejlesztők:

Nyelv	*Fejlesztők*
WAVE	Stanford
AL	Stanford
PAL	Purdue
VAL	Unimation
AML	IBM
RAIL	Automatix
MCL	McDonnel
RCL	SRI

Feladatorientált programozáskor nem az elmozdulások sorozatát kell leírni, hanem magát a feladatot.
Természetesen a robot-, a munkadarab-, a környezet modelleknek rendelkezésre kell állnia.
Ilyen esetben a robotprogramot a mesterséges intelligencia eredményeit felhasználó számítógépes rendszer dolgozza ki.
Az előző feladat leírása:

" FOGD MEG A CSAPOT ÉS TEDD A FURATBA"

A legismertebb programnyelvek:

Nyelv:	*Fejlesztők:*
AL	Stanford
Autopass	IBM
LAMA	MIT
RAPT	Edinburgh

A jegyzetben a későbbiekben csak a manipulátorszintű programozással foglalkozunk.

5.6.3.1. Robotnyelvek elemei és funkciói

A következő nyelvi elemeket és funkciókat különböztetjük meg:

- konstansok, változók, egyéb adatok
- mozgatási parancsok
- robotkézre és érzékelőkre vonatkozó utasítások
- programszervezés és alprogramok

5.6.3.1.1. Konstansok, változók, egyéb adatok

A program végrehajtása során a konstans értéke nem változik. A változó egy szimbolikus név, mely különböző értéket kaphat a programban. A változó típusa lehet:

- integer
- real
- string

(számítógépi programnyelvekhez teljesen hasonlóan).
Általános szabály, hogy betűvel kezdődhet a változó.

5.5.3.1.2. Mozgatási parancsok

A robotnyelvek legfontosabb utasításai a manipulátor mozgások programozására vonatkoznak.

Általános mozgatási parancs

MOVE<pontazonosító>

Például: **MOVE** A1 az előzetesen meghatározott A1-es pontban lesz az elmozdulás célpontja.
Ilyen esetben a mozgás csukló interpolációval valósul meg.

Lineáris interpoláció:

MOVES Ai

Itt jegyezzük meg, hogy az egyes megvalósított esetekben az utasítások szintaxisában eltérések lehetségesek még azonos nyelv különböző verzióiban is.
Pl. van olyan robotvezérlés, ahol VAL nyelven a mozgást **GO** vagy **GOS** utasítással kell programozni.
Számos esetben szükséges az, hogy a kezdő és véghelyzet között közbülső pontokon is átmenjen a szerszám vagy a robot vezérelt pontja.
Erre szolgál a **VIA** utasítás

MOVE A1 **VIA** A2 A mozgás célpontja A1, de az A2 ponton is keresztül megy a pálya.

Programozható, hogy a robotkéz a célhelyzet előtt adott távolsággal álljon meg (a lokális koordináta-rendszerben a "Z" irányban értendő ez a távolság).

APPRO A2, 50 Az A2 pont ellőtt 50 mm a célhelyzet. Ugyancsak előírható, hogy pl . a kéz összezárása után mekkora értékekkel távolodjon el.
DEPART 50.

Lehetőség van arra, hogy növekményes programozást alkalmazzunk:

DMOVE A1, <dx, dy, dz> az új célhelyzet az A1-hez képest: dx,dy, dz értékkel eltér.

A mozgás sebességét a **SPEED** főszóval írjuk elő.

SPEED 75 mm/sec

Pontok meghatározása

A robotprogramban a mozgások leírására azonosítóval ellátott pontokra van szükség. A pont definiálására két lehetőség van.

a) Kézi *(MANUAL)*, betanításos *(TEACH-IN)* üzemmódban a megfelelő robot manipulátor konfigurációt fel kell venni, majd a **HERE** A1 utasítással az aktuális koordináta értékek az A1 azonosítójú ponthoz rendelődnek.

b) Ismerve a koordinátákat, közvetlenül is definiálhatunk pontot.

DEFINE A1= **POINT (X, Y, Z, Θ, Φ, Ψ)**

Pálya és koordináta-rendszer a célpontban

Több pontot összekapcsolva pályát hozhatunk létre. Pl. az A1, A2, A3, A4-es pontokból a PATH 1 pályát definiálhatjuk.

DEFINE PATH1= **PATH (A1, A2, A3, A4)**

Ezután a mozgás

MOVE PATH1 vagy **MOVES** PATH 1

A célhelyzetben koordinátarendszert is definiálhatunk

DEFINE FRAME 1= **FRAME (A1, A2, A3)**

A1: a koordinátarendszer kezdőpontja
A2: pont a X tengelyen
A3: pont az Y tengelyen
A Z tengely merőleges lesz az XY síkra és a koordinátarendszer jobbsodrású.
Ennek előnye az, hogy több ismétlődő alakzat, pálya programozása egyszerűbb.

Legyen a munkadarabon P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7 pontokból álló pálya, amelyet összesen 3 helyen kell megvalósítani.
Előzetesen a három helyzethez tartozó **FRAME1, FRME2, FRAME3** koordinátarendszereket definiálni kell.
Az útvonal definiálása az első koordináta rendszerben:

DEFINE ROUTE: **FRAME**=PATH (P1,P2, P3, P4, P5, P6, P7)

A mozgás programozása

MOVES ROUTE: FRAME 1
MOVES ROUTE: FRAME 2
MOVES ROUTE: FRAME 3

5.6.3.1.3. Robotkézre és érzékelőre vonatkozó parancsok

A kéz zárása és nyitása

OPEN vagy **SIGNAL <kimenő csatorna>** pl.: SIGNAL 5
CLOSE vagy **SIGNAL** pl.: SIGNAL 6

Ha a mozgást végző szervomotor is elérhető a programból, akkor programozható a nyitás mértéke illetve a szorítóerő is.

pl. **OPEN** 40 MM (40 mm-es kéznyitás)
CLOSE 30 N (30 N szorítóerő)

A robot a külvilággal **INPUT-OUTPUT** csatornákkal tartja a kapcsolatot. A csatornák a **SIGNAL** főszóval kapcsolhatók

SIGNAL 3 ON
SIGNAL 3 OFF

Lehetséges analóg jelszint megadása is

SIGNAL 105, 4.5 pl. 105-ös csaotrna 4.5 V feszültséget kap.

A programban az egyes csatornák jeleire várhatunk is:

WAIT 15, ON vár arra, hogy a 15-ös bemenő (input) csatorna bekapcsolt állapotban legyen.

A csatornaszámok használata helyett változókat is definiálhatunk, így áttekinthetőbbé és egyszerűbbé válik a programunk.

DEFINE MOTOR 1= **OUTPORT 5**
DEFINE SENSR 3= **INPORT 15**

A MOTOR 1-es változó az 5-ös OUTPOUT, a SENSR 3 pedig a 15-ös INPUT csatorna állapotát jelzi.

A programban ezek után:

SIGNAL MOTOR 1, ON
WAIT SENSR 3,ON
SIGNAL MOTOR 1, OFF
WAIT SENSR 3, OFF.

5.6.3.1.4. Aritmetikai műveletek és egyéb funkciók

\+ összeadás
\- kivonás
* szorzás
/ osztás
↑ hatványozás
= egyenlőség

Sok nyelv megengedi a szögfüggvények alkalmazását is.

SIN (A) **ASIN (A)** **LOG(x)** **SORT(x)**
COS(A) **ACOS(A)** **EXP(x)**
TAN (A) **ATAN (A)** **ABS (x)**

COT (A) ACOS (A) INT (x)

Relációk:

EQ(=)	**GE (>=)**	**AND**
NE (≠)	**LT(<)**	**OR**
GT (>)	**LE (<=)**	**NOT**

5.6.3.1.5. Programszervezés és alprogramok

A robotprogramnyelvekben a számítógépes nyelvekhez hasonlóan - sokszor azonos szintaxisú - utasításokat alkalmaznak.

1. Elágazások a programban

feltétel nélküli ugrás

GOTO CIMKE

feltételes elágazás

a) eset: **IF** < logikai kifejezés > **GOTO** <címke>

b) eset: **IF** < kogikai kifejezés > **THEN** < utasítás >
ELSE < utasítás >**END**

a) eset: Ha a logikai kifejezés igaz, akkor címke-től folytadódik a program

b) eset: Ha a logikai kifejezés igaz, akkor a THEN, egyébként az ELSE utáni parancsokat hajtja végre a vezérlés.

2. Ciklusok

Ismétlődő ciklus szervezése: **DO**
<utasítások>
UNTIL <logikai kifejezés>

A DO utáni programrészt addig ismétli, amíg az UNTIL-hoz tartozó logikai kifejezés igaz nem lesz.

3. Várakozási idő

DELAY <idő> [sec]
A program az előírt ideig nem fut tovább.

4. Megállási parancsok

STOP a program futása megszakad és nem indítható tovább
PAUSE a program futása megszakad és tovább folytatható
RESUME utasítással.

5. Alprogramok

A program szerkezete

PROGRAM< program név >

.

CALL S1(paraméterek)

.

.

END PROGRAM
SUROUTINE S1(paraméterek)

.

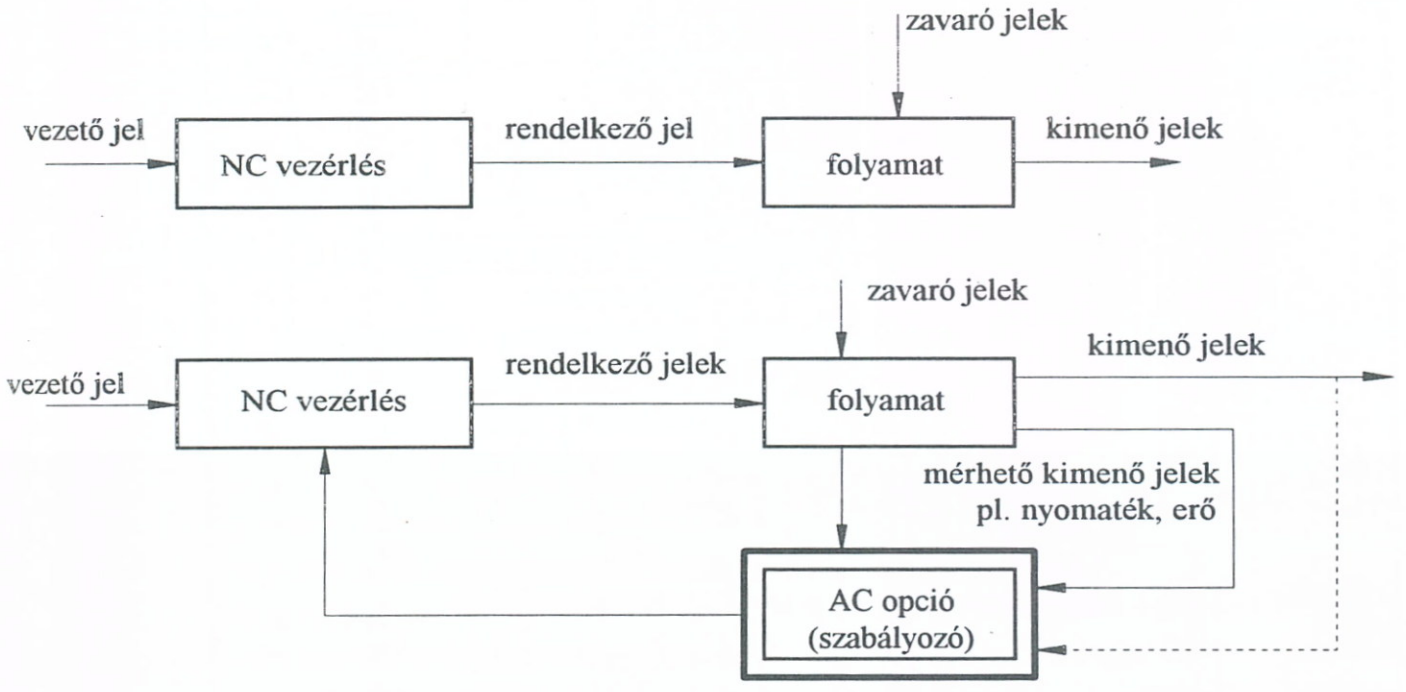
RETURN

Szubrutinok a főprogramból hívhatók a FORTRAN, PASCAL, stb. nyelvekhez hasonló módon.

A szubrutin lezárása **RETURN**, vagy **END SUBROUTIN** utasításra történik. Végrehajtása után a hívást követő (CALL utáni) robotprogram utasítás következik.

5.7. A forgácsolási folyamat adaptív irányítása

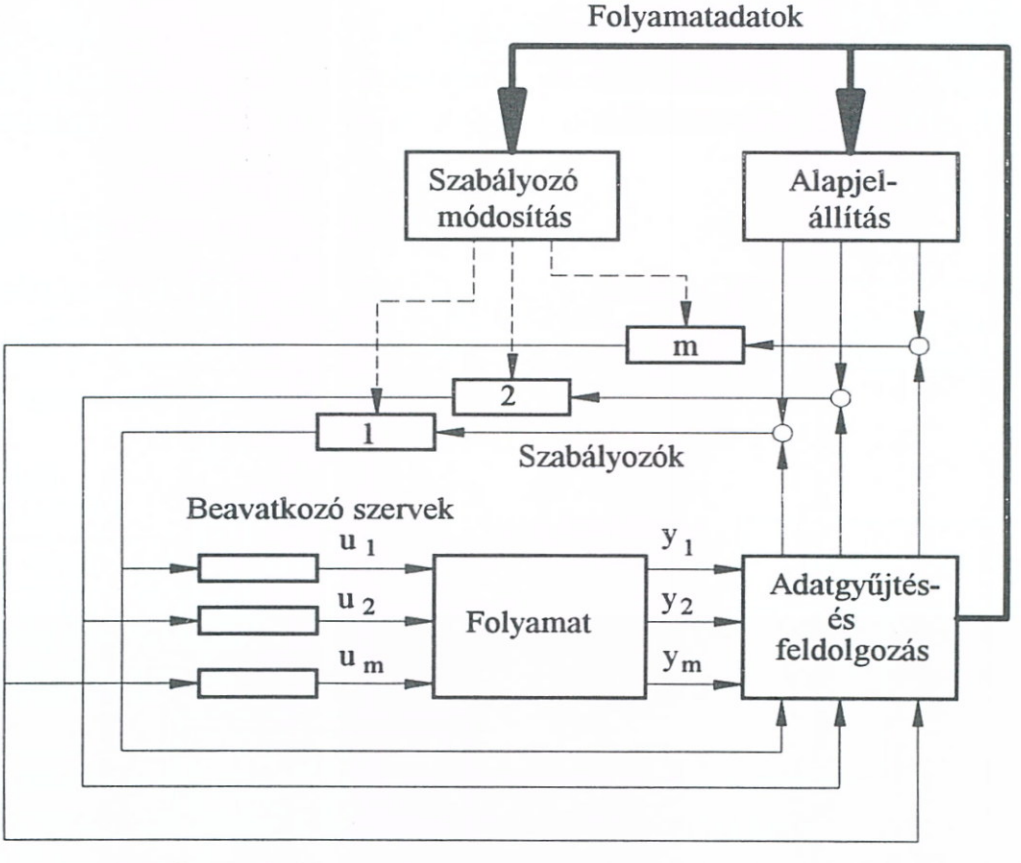
A gyártási folyamatok egyik jellegzetessége, hogy szélsőséges viszonyok között, jelentős nagyságú zavaró jeleknek kitéve játszódnak le és a folyamat paraméterei is erősen szórnak. Hiányos információink vannak a folyamat (pl. forgácsolás) bemenő



5.78. ábra: Az egyszerű vezérlés és AC irányítás hatásláncának összehasonlítása

jeleinek (technológiai paraméterek, forgácsolási sebesség, előtolás stb.) és a folyamat eredményeinek, azaz kimenő jeleinek (munkadarab méretek, felületi integritás stb.) pontos kapcsolatáról. További gondot okoz, hogy ezek a kimenő jelek megmunkálás közben nem, vagy csak körülményesen mérhetőek, helyettük meg kell elégedni a folyamatot kísérő egyéb jelek (erők, nyomatékok, hőmérséklet stb) mérésével és ezekből következtetünk a tulajdonképpeni kimenő jelekre. A jelentős zavarásoknak kitett folyamatok irányításának hatékony eszköze a visszacsatolás elvének alkalmazása: a szabályozás. A nyitott és zárt hatásláncú irányítást szemlélteti az 5.78 ábra. Visszacsatolás esetén a szabályozó információt kap a megmunkálási folyamatról, ezt összehasonlítja a folyamattól megkívánt jellemzőkkel és az eredmény alapján olyan irányító hatást gyakorol, hogy a valóságos állapotot a megkívánt állapothoz közelítse. A szabályozások különleges formája az adaptív szabályozás. (AC=Adaptiv Control)

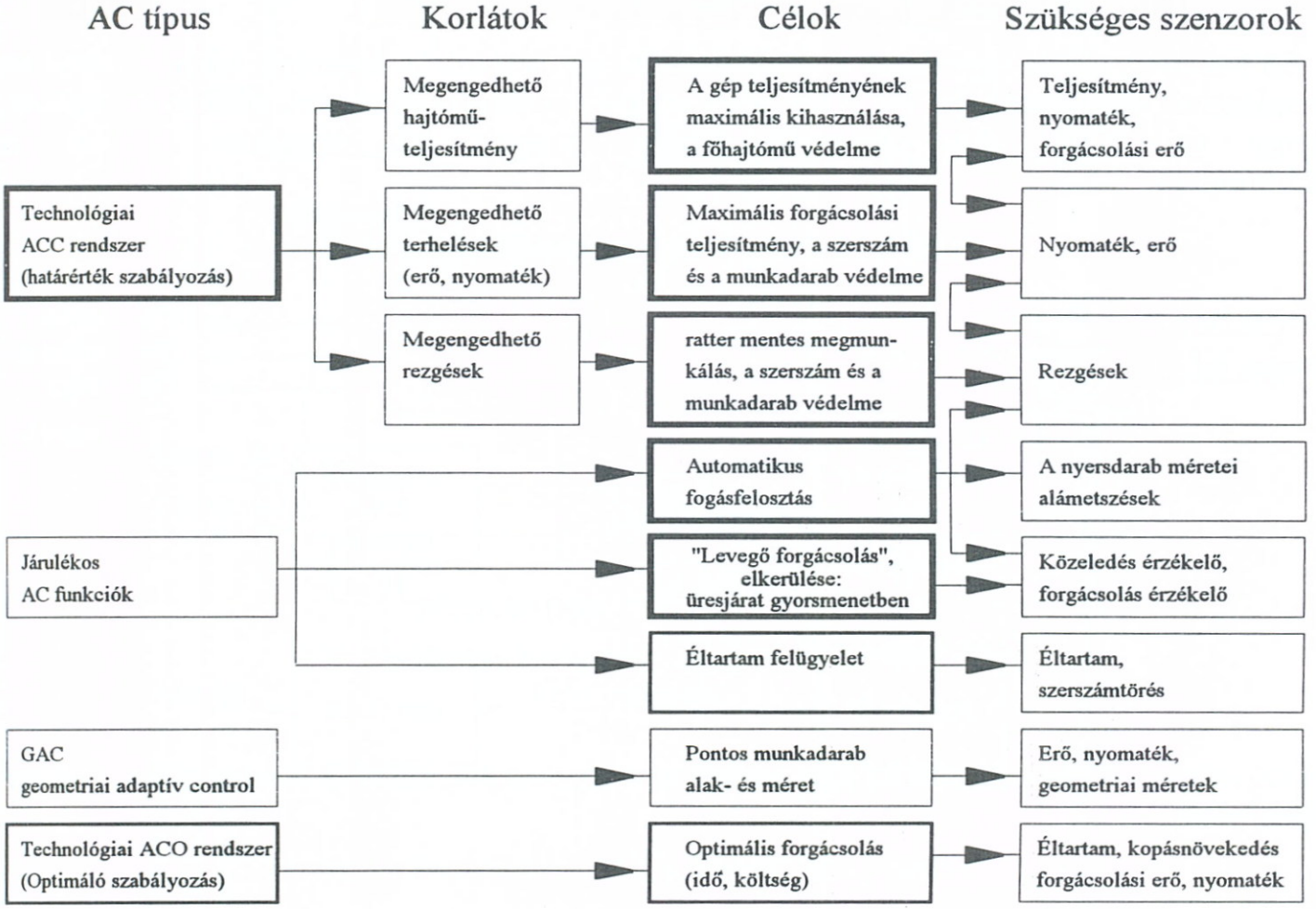
Az adaptív szabályozási rendszer nagy alkalmazkodási képességű szabályozási rendszer, amely viselkedését (struktúráját, paramétereit, alapjeleit) meghatározott állapot elérése vagy adott működésének a környezeti hatások változásai esetén való fenntartása érdekében megváltoztatja. Az 5.79. ábra a többváltozós adaptív szabályozás hatásvázlatát mutatja. A folyamat kimenő jelei (y_1,y_2,...y_n) alapján az identifikációs algoritmus jelet ad a szabályozó struktúrájának ill. paramétereinek módosítására és az alapjeleket is módosítja. Az 5.79. ábrán bemutatott bonyolult szabályozási struktúra a gyakorlatban sokszor leegyszerűsödik, esetleg közönséges szabályozási körre redukálódik (pl. forgácsolási erő szabályozás). A kialakult szerszámgépes terminológia szerint ilyenkor is (bár helytelenül) adaptív irányításról beszélünk.



5.79. ábra: Többváltozós adaptív irányítás hatásvázlata.

5.7.1. Adaptív irányítási stratégiák

Az adaptív irányítás legfontosabb jellemzője az irányítási stratégia. Ez a kifejezés magában foglalja az elérendő célt és a megvalósítás módját. A tipikus AC stratégiákat a 5.80 ábra foglaja össze.



5.80. ábra: AC rendszer

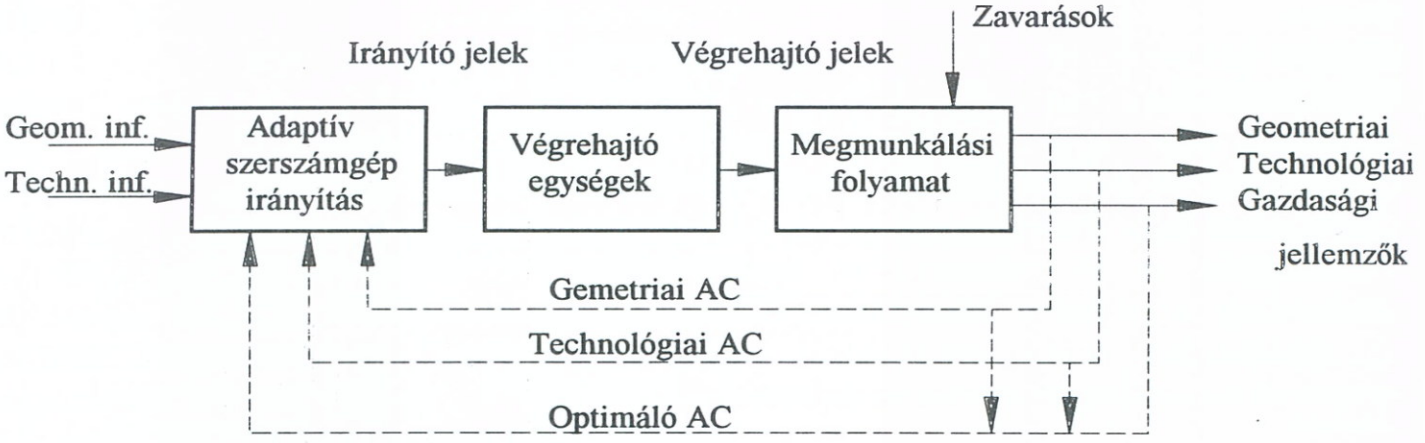
Az elérendő célokat a következőképpen csoportosítjuk:

- a forgácsolási paraméterek állandó értéken tartása (ACC=Adaptiv Control Constraint):
  a gép maximális teljesítményének kihasználása, a szerszám és munkadarab túlterhelés elleni védelme, rezgéshatár, ratter elkerülése
- járulékos adaptív funkciók:
  mellékidő csökkentése, "levegő forgácsolás" elkerülése, automatikus fogásfelosztás
- geometriai hibák csökkentése (GAC=Geometrical Adaptiv Control):
  deformációkból adódó geometriai hibák állandó értéken tartása, csökkentése,

- optimalizáló adaptív irányítás (ACO= Adaptiv Control Optimalization): költségek minimalizálása, gyártási idő minimalizálása vagy más jól választott költségfüggvény extremálása szélső értékeinek elérése.

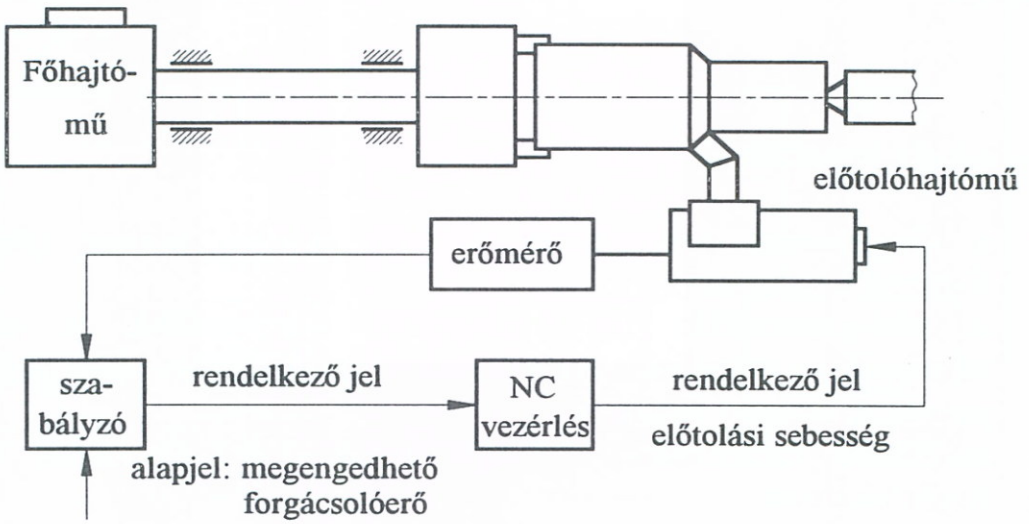
5.7.2. AC rendszerek felépítése

Az elérendő célok egymással kombinálhatók, így többkörös összetett adaptív irányítási rendszerek alakíthatók ki. Az 5.81. ábra adaptív optimáló rendszert ábrázol és látható, hogy az 5.79. ábra átrajzolt alakja, melyen az irányítási célokat is feltüntettük.

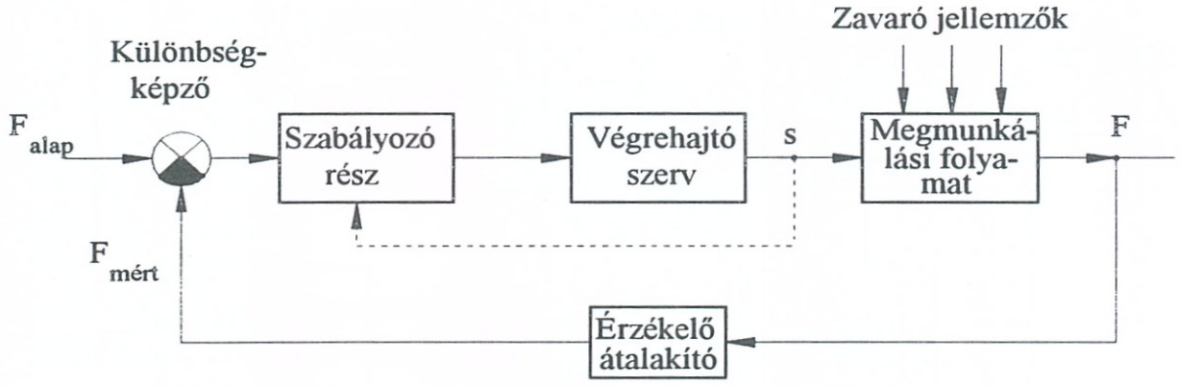


5.81.ábra: Adaptív irányítási rendszer

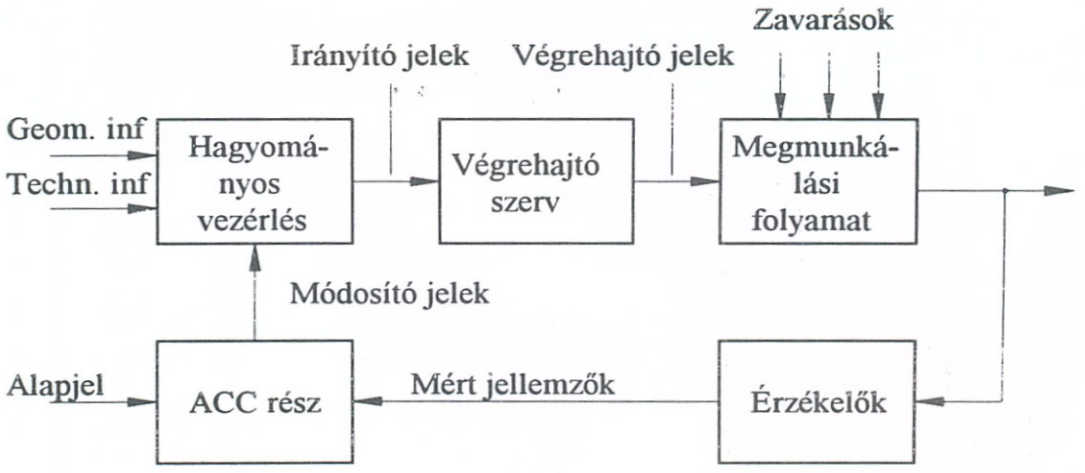
A következő ábrasorozaton az egyszerűtől az összetett felé haladva elemezzük a rendszer felépítését.



5.82. ábra: Egyszerű technológiai AC (forgácsolási erő (F) szabályozása)



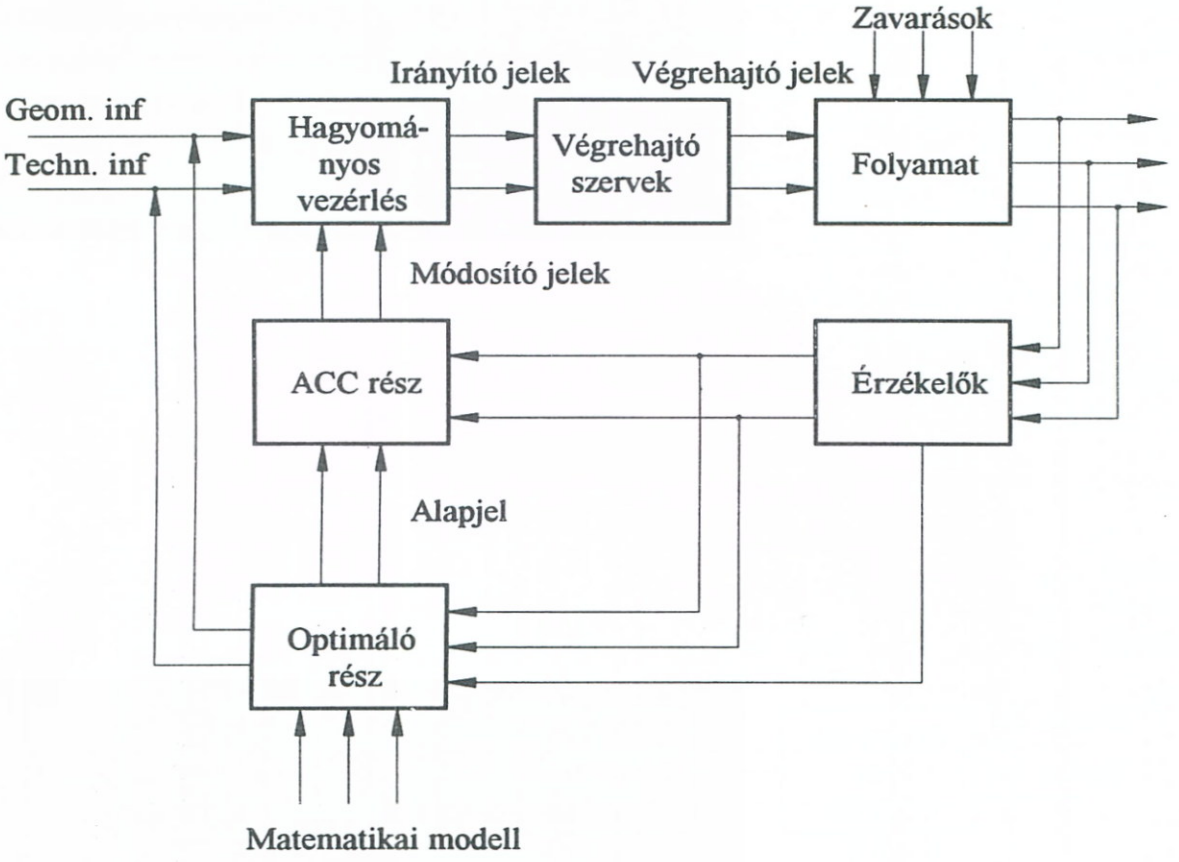
5.83. ábra: Forgácsoló erő szabályozások



5.84. ábra: Értéktartó (ACC) adaptív irányítási rendszer

Az 5.82. ábra egy változós egyszerű erőszabályozó rendszert mutat. A szabályozó alapjele a megengedhető forgácsolóerő. A fellépő forgácsolóerő az előtolási sebességtől függ és az erőmérő érzékeli. A szabályozó összehasonlítja ezt az értéket (x_e) az alapjellel és rendelkező jelet ad ki az előtolási sebesség kívánt irányú megváltoztatására. A szabályozás blokkvázlatát az 5.83 ábra mutatja. Többváltozós határérték szabályozás vázlatát mutatja az 5.84. ábra. A mért jellemzők között szerepelhetnek nyomatékok, rezgés amplitudók, hőmérséklet. Az ACC szabályozás megakadályozza, hogy a folyamat kimenő jelei az alapjelek által meghatározott határokat túllépjék, megvédi a rendszert a káros túlterheléstől. Az optimáló rendszer hierarchikusan az ACC rendszert fölé épül (5.85.ábra). Feladata az ACC rész alapjeleit úgy változtatni, hogy valamely általánosított költségfüggvény szélső értéket érjen el.

A forgácsolási folyamat adaptív irányítását az [9] irodalom részletesen tárgyalja.



5.85.ábra: Optimáló (ACO) adaptív irányítási rendszer

Felhasznált irodalom:

[1] M. Weck ; Werkzeugmaschinen,
VDI Verlag GmbH, Düsseldorf 1982.
[2] Dr J. Heidenhain GmbH; Digital Linear and Angular Metrology
Verlag Moderne Industrie AG&Co, 1990.
[3] J. Pusztai, M. Sava Computer Numerical Control
Reston, Virginia
[4] CNC Ausbildung
Carl Hanser Verlag München
[5] E. Kafrissen, M. Stephens, Industrial Robots, and Robotics
Reston, Virginia
[6] D.Mc Clay, D.M.J. Haris, Robotertechnik WCH, Weinheim
[7] Lantos Béla, Robotok irányítása
Akadémiai Kiadó, Budapest
[8] Graham T.Smith, CNC Machining Technology, Springer-Verlag
[9] Horváth, Somló : A forgácsoló megmunkálások optimálása és adaptív irányítása,
MK, Budapest 1979

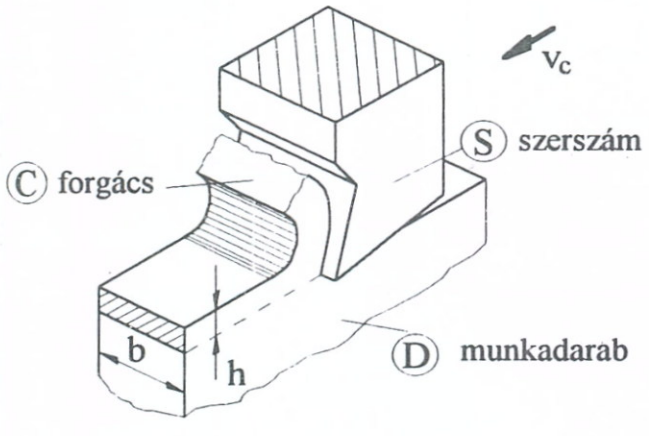
6. MEGMUNKÁLÁSOK

A megmunkálási eljárások felületleképezések szerinti osztályozását az 1. fejezet már bemutatta. A nemzetközi szabványosítási törekvések középpontjában áll, az először a DIN 8589-ban definiált osztályozási rendszer. A 6.1. táblázatban vázolt osztályozás hat főcsoportot különböztet meg, majd a csoportokba és alcsoportokba rendezés alapja részben a gyártásgeometria, másrészt a forgácsleválasztás elve. Az eljárások rendszerezése a hasonlóság alapú tervezés (csoporttechnológia) szempontjából bír különös jelentőséggel.

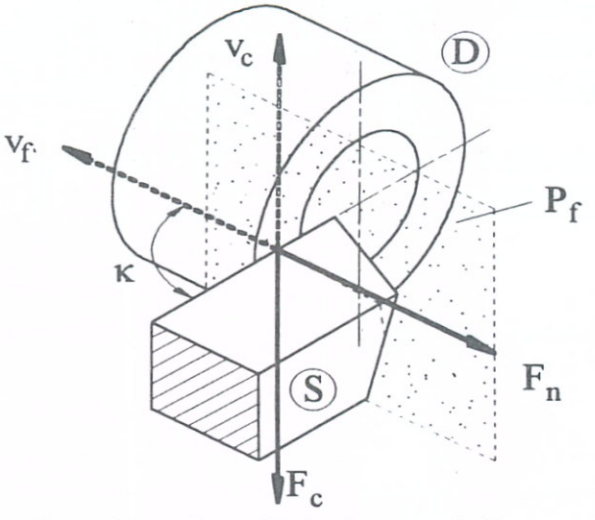
6.1. A forgácsleválasztás alapjai

A forgácsolási folyamat, illetve a megmunkáló rendszer legfontosabb elemei és összetevői:

- D - a munka tárgya, u.n. munkadarab;
- E - a munkaeszköz, ezen belül az S forgácsolószerszám;
- C - a tárgyról eltávolított anyagrészek a forgács;
- M - a munkagép, amely a munkadarab és a szerszám kölcsönhatásához szükséges energiát és mozgást biztosítja.



6.1. ábra. A forgácsolás és rendszere



6.2. ábra. Forgácsolási alapmodell

A folyamatot jellemző alapmennyiségek:

- v_c - forgácsolósebesség - a forgácsolóél kiválasztott pontjának a munkadarabhoz viszonyított sebessége;
- f - a szerszám adott viszonyítás szerinti elmozdulása

1. ALAKADÁS	*2. ALAKÍTÁS*	*3. SZÉTVÁ-LASZTÁS*	*4. EGYESÍTÉS*	*5. BEVONÁS*	*6. ANYAGTUL. VÁLTOZ-TATÁS*
Alaklétrehozás plasztikus alakítás révén.	Alaklétrehozás képlékenyalakítással, forgácsképződés nélkül.	Alaklétrehozás a felesleges anyag eltávolításával.	Új alak létrehozása részek egyesítése révén.	Felületi rétegképzéssel új tulajdonságok létrehozása	Felületi rétegtulajdonságok megváltoztatása.
1.1 Öntés (folyékony állapotból)	**2.1** Hengerlés (Nyomásos alakítás)	**3.1** Darabolás (Le vagy kivágás)	**4.1** Ráhelyezés	**5.1** Lakkozás	**6.1** Átkovácsolás
1.2 Fröccsöntés (Plasztikus állapotból)	**2.2** Mélyhúzás (Húzó alakítás)	**3.2** Forgácsolás (Anyaglevá-lasztás szabá-lyos éllel)	**4.2** Feltöltés	**5.2** Glettelés (Kittelés)	**6.2** Hőkezelés
1.3 Kerámia öntés (Pépes állapotból)	**2.3** Nyújtás (Húzó alakítás)	**3.3** Abrazív megm. (Anyaglevá-lasztás szabály-talan éllel)	**4.3** Összecsavaro-zás	**5.3** Vakolás	**6.3** Termomecha-nikus kezelés (HIP)
1.4 Porsajtolás (Szemcsés v. por állapotból)	**2.4** Hajlítás (Lemez és cső)	**3.4** Leválasztás (Fizikai kémiai eljárások)	**4.4** Kiöntés	**5.4** Kicsapatás	**6.4** Zsugorítás, Égetés
1.5 Merítés (Ros-tos állapotból)	**2.5** Domborítás	**3.5** Bontás	**4.5** Szegecselés		**6.5** Mágnesezés
		3.6 Felülettisztítás	**4.6** Hegesztés	**5.6** Felrakó-hegesztés	**6.6** Ioninplantáció
			4.7 Forrasztás	**5.7** Ónozás, horganyzás	**6.7** Fotókémiai eljárás (UV kezelés)
1.8 Gáz, gőz állapotból			**4.8** Ragasztás	**5.8** CVD (vákum-gözölés)	
1.9 Ion állapotból			**4.9** Varrás, kötés	**5.9** Galvanizálás	

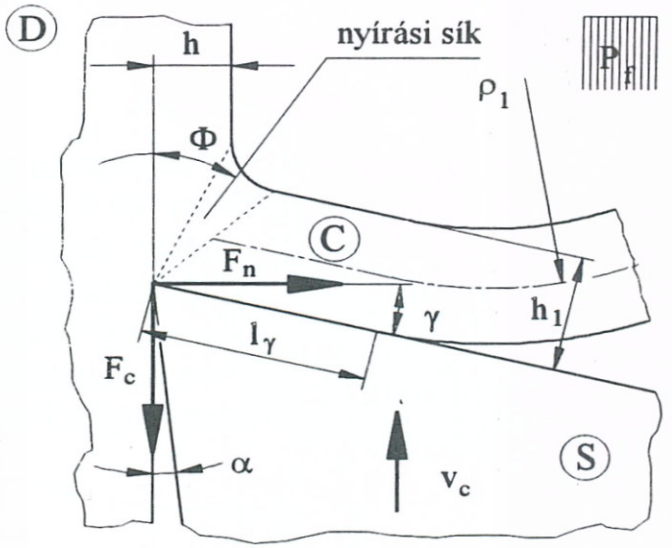
6.1. táblázat Megmunkálási eljárások osztályozása

a - fogásmélység;
$n_c;\omega_c$ - forgácsolási fordulatszám, illetve szögsebesség;
h; b - forgácsvastagság és -szélesség, vagy elméleti forgácsméretek;
A - forgácskeresztmetszet,
v_f - előtolási sebesség /származtatott mennyiség/, $v_f = n_c f$;
q_c - anyagleválasztási sebesség $q_c = afv_c$
G - forgácsalaktényező $G = \frac{b}{h}$

A forgácsolási folyamat során a forgácsoló ék élével és homlokfelületével a munkadarab anyagába hatol, azt az él előtt képlékenyen deformálja, oly mértékben, hogy az anyag a keletkező feszültségeknek már nem képes ellenállni, annak szerkezete felszakad és a forgács elválik a munkadarabtól. Az anyag tehát a nyírási síkban erősen deformálódik, majd a forgácsleválás a sík alsó szélén anyagszakadással zárul. A fő igénybevétel forgácsolásnál az anyag nyírása.

A forgácsleválást jellemző mennyiségek.

A folyamat elsődleges alakváltozása a nyírási síkban játszódik le, melynek átlagos hajlásszöge a Φ nyírási szög (6.3 ábra):



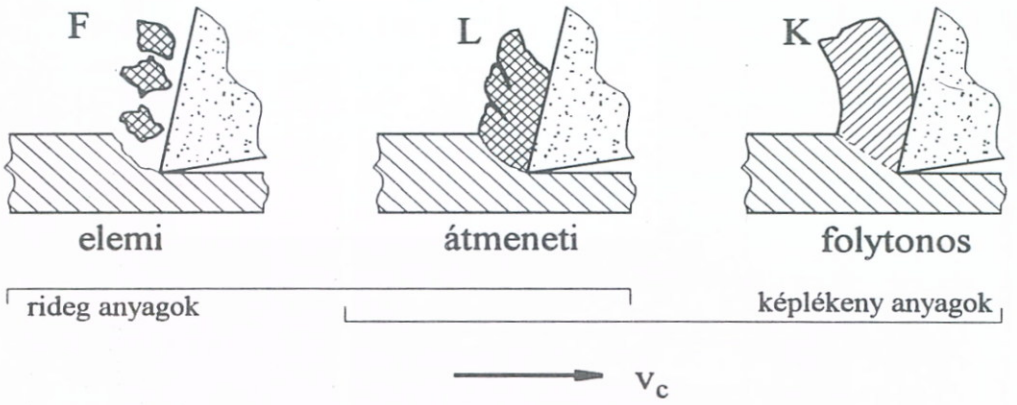
6. 3. ábra. Forgácsleválás

l_γ - a forgács és a homlokfelület érintkezési hossza;
h_1 - a leválasztott forgács vastagsága;
ρ_1 - a forgács görbületi sugara;
F_c - forgácsolóerő;
F_n - normálerő;
γ - homlokszög;
α - hátszög;
v_c - forgácsolósebesség;

Általános megfigyelés: általában a leválasztott forgács vastagsága h_1 nagyobb az elméleti forgácsvastagságnál, mig hossza l_1 kisebb az l elméleti forgácshosszuságnál; a forgácsszélesség méretei b_1 és b nem változnak (6.3 ábra).

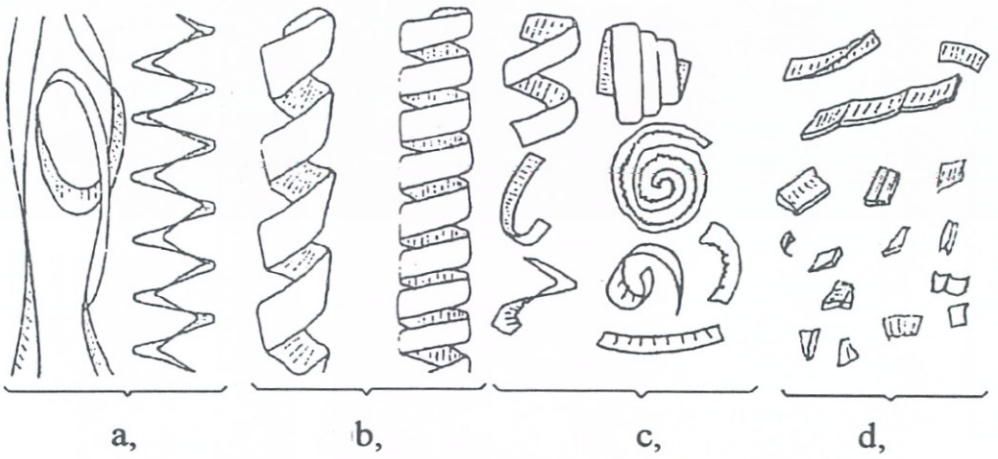
Forgácsformák, forgácstörés.

A forgács a szerszám homlokfelületével lγ hosszon érintkezik,majd attól elhajlik és $\rho_1$sugárral jellemezhető közel körív alakot vesz fel (6.3 ábra).



6.4. ábra. Forgácstípusok

Minél kisebb a forgács görbületi sugara, annál könnyebben eltörik időszakonként a forgács, különösen annak lazább szerkezetű lemezes (6.4. ábra) tipusa. Ezt nevezik természetes forgácstörésnek, a forgácsformát pedig törtforgácsnak. Ha ez nem következik be akkor kell mesterséges forgácstörést alkalmazni, melynek lényege, hogy a lefutó forgács utjába forgácstörőt állítanak, amely erős alakváltozáshoz vezet és a lefutó forgács ennek következtében darabokra törik, vagy szoros, tömött kötegbe tekeredik. Az ilyen típusú forgácsformák (6.5. ábra) kezelésük szempontjából sokkal kedvezőbbek.



6.5. ábra. Különféle forgácsformák

6.1.1. A forgácsolás energetikai kérdesei

Forgácsolási erők.

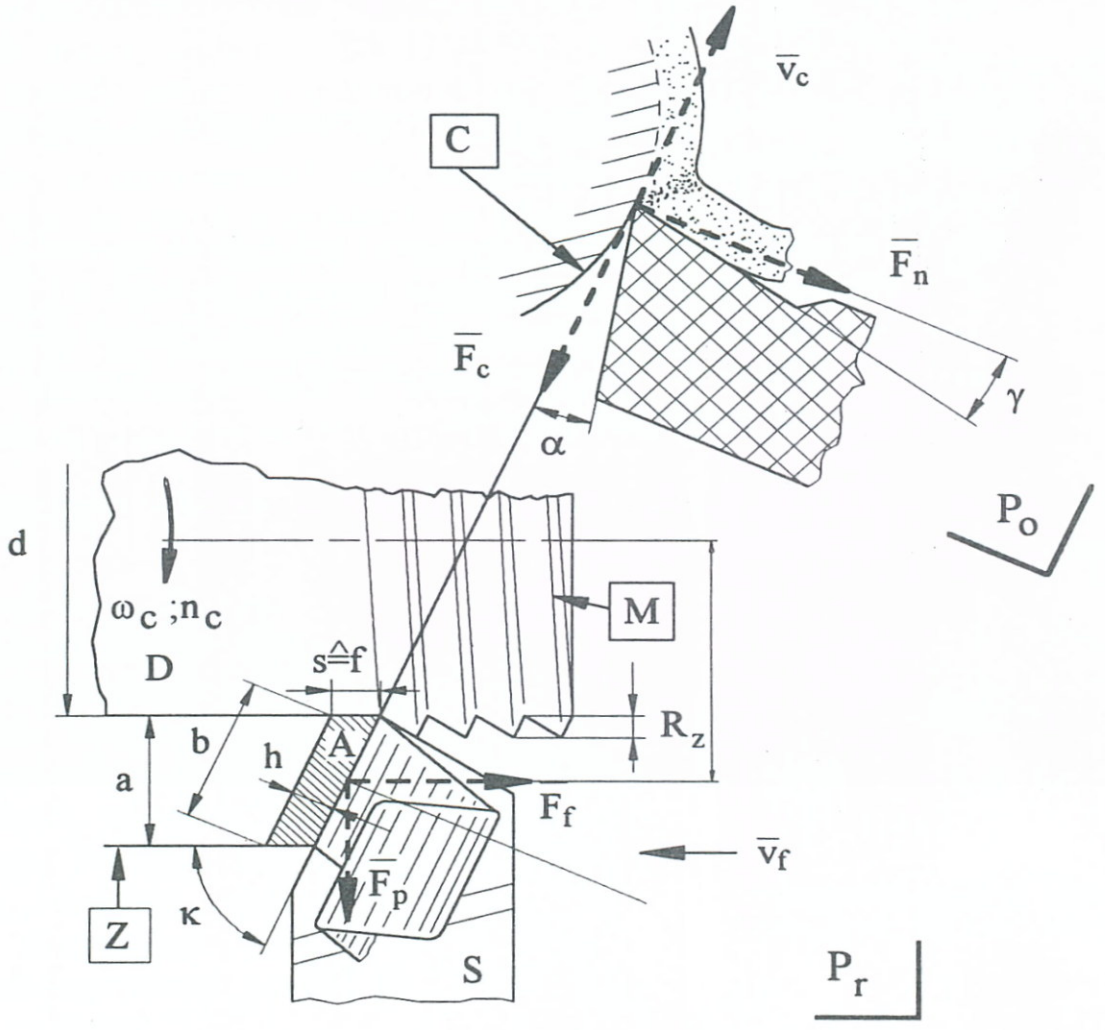
Az anyag képlékeny alakváltozásához, töréséhez, átrendezéséhez, a mozgásokhoz erőkre van szükség, amelyek a szerszám és a munkadarab között hatnak és amelyeket a munkagép fog fel, illetve az erőlánc rajta keresztül zárodik. A 6.3 ábra egyszerű forgácsolásra, a 6.6. ábra pedig u.n. kötött forgácsolásra mutatja a mozgás- és erőviszonyokat, ahol:

F_c - forgácsolóerő; F_n - normál, vagy nyomóerő; F_f - előtolóerő; F_p - passziverő,

melyek közül egyszerű forgácsolásra csak az első kettő értelmezhető. Az így értelmezett erők a forgácsolóékre ható F eredő forgácsolási erő, megfelelő irányokban felbontott összetevői. Az erők ismerete a rendszer elemeinek terhelése, valamint a gépteljesítmény meghatározásához szükségesek (az utóbbihoz csak F_c).

Fajlagos forgácsolóerő k_C: ennek a mennyiségnek a folyamat elemzésénél, a forgácsolási folyamat tervezésénél van nagy jelentősége. A fajlagos forgácsolóerő az egységnyi ($1mm^2$) elméleti forgácskeresztmetszetre vonatkoztatott forgácsolóerő (6.7. ábra).

A fajlagos forgácsolóerő igen sok tényezőtől függ, ugyanúgy, mint az alakváltozási



6. 6. ábra. 3D-s forgácsolási modell általános vázlata

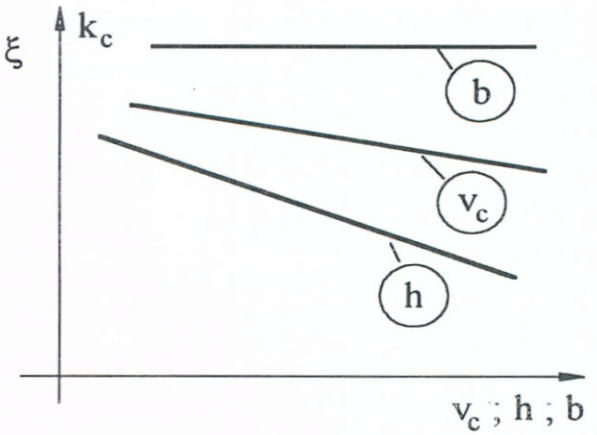
tényező, többek között a forgácsolási sebességtől és a forgácsvastagságtól, független viszont a b forgácsszélességtől (6.7 ábra):

$$k_c = \frac{k_1}{h^{x_k}}$$

ahol:

k_1 - forgácsolási (alakítási) ellenállás

x_k - az erőösszefüggés kísérleti úton meghatározott állandói



6.7. ábra. A fajlagos forgácsolóerőre ható tényezők

A k_c összefüggést és a 6.7. ábrát figyelembe véve, valamint a forgácsolósebesség hatását elhanyagolva, megkapható a gyakorlatban használatos erőösszefüggés:

$$F_c = k_c A$$

$$F_c = C_F \cdot f^{x_F} \cdot a \cdot \Pi K_{iF}$$

ahol:

C_F - erőállandó, amely szoros kapcsolatban van a k_1 forgácsolási ellenállással,

$x_F = 1 - x_k$

ΠK_{iF} - az erőt másodlagosan (gyengén) befolyásoló tényezők hatását kifejező módosító paraméterek szorzata, ha azok a C_F erőállandó kísérleti úton történt meghatározásánál alkalmazott (bázis)értékektől eltérnek, pl. szerszámhomlokszög; forgácsolósebesség; szerszámkopás; hűtés-kenés.

Az egyéb erőösszetevőket - F_n, F_f, F_p - az F_c erő alapján, tapasztalati arányossági tényezők segitségével határozzák meg, pl.:

$$F_n = F_c \lambda$$

Nyomaték és teljesítmény:

$$M_c = F_c \cdot \frac{d}{2} \quad [Nm]$$

A forgácsolási és gépteljesitmény:

$$P_c = \frac{F_c v_c}{6 \cdot 10^4} = \frac{k_c q_c}{6 \cdot 10^4}; \quad [kw] \qquad P_m = \frac{P_c}{\eta} \quad [kw]$$

ahol:

$q_c = v_c.a.f$ - anyagleválasztási sebesség [cm^3/min]
P_c - forgácsolási teljesítmény [kw]
P_m - gépteljesitmény [kw]
η - géphatásfok.

A forgácsolási energia E_c

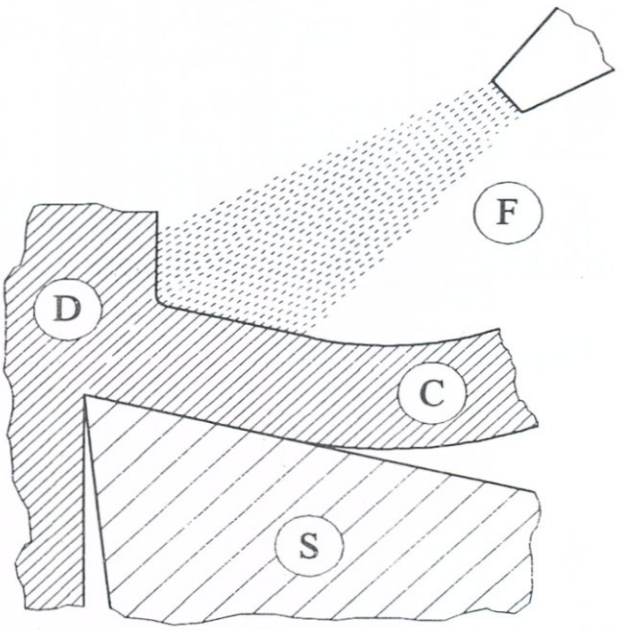
$E_c = k_c.q_c.t_c$ vagy
$E_c = \int P_c dt$ (változó üzemmódban)

ahol:

t_c - a forgácsolási idő [min]

Termikus jelenségek.

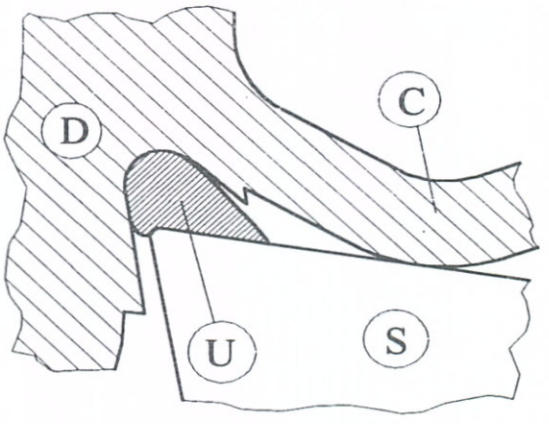
Forgácsolásnál a felhasznált mechanikai energia (E_C) teljesen hővé alakul át, és a munkadarab, a forgács és a szerszám között oszlik meg, növelve mindhárom elem hőmérsékletét. Legnagyobb mennyiségben a hő (75-85%) a forgácsba távozik erősen felmelegitve azt. A forgács egyenetlenül melegszik fel, legnagyobb hőmérséklete a szerszámmal való érintkezési zónájában van, és ennek a zónának az átlagos hőmérsékletet Θ_C nevezik forgácsolási hőmérsékletnek. A forgácsolási hőmérséklet csökkentéséhez és stabilizálásához hűtő-kenő folyadékot alkalmaznak, ami a tiszta víztől kezdve az olajig bezárólag sokféle anyag, elsősorban folyadék lehet (6.8 ábra)



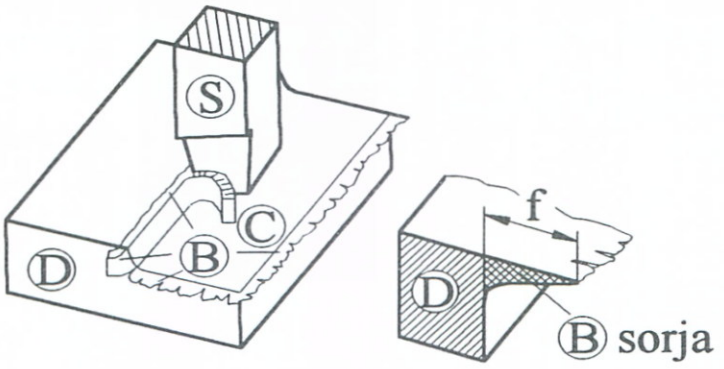
6. 8. ábra. Hűtés-kenés

Élrátétképződés

Forgácsleválás közben a szerszám homloklapjának élközeli részén, ahol a forgács mozgása irányt vált és lelassul, kialakulhat az u.n. stagnálási zóna, amelyben a nagy nyomás és magas hőmérséklet hatására az anyagrétegek egymás között, valamint a szerszám anyagával többé vagy kevésbé erős kötéssel összehegednek. Általában ez az anyagnak nem folyékony állapotában történik, ezért hideg- vagy nyomó-hegedésnek nevezik (6.9. ábra). Igy keletkezik az élrátét "U".



6.9. ábra. Élrátétképződés



6.10. ábra. Sorjaképződés forgácsolásnál

Sorjaképződés

Megmunkálási sorja a munkadarab anyagából származó, megmunkálás közben, a munkadarab élein és felületein, a szerszámél alakító hatására maradandóan megjelenő, az előírt határoló felületeken és éleken túlnyúló, általában szándékoltan nem tervezett képződmény (6.10. ábra). A sorja eltávolítása három szempontból is elengedhetetlen:

- funkcionális: a gyártás és a felhasználás során sorja megengedhetetlen;
- ergonomiai : a dolgozó sérülését okozhatja;
- esztétikai : a sorjás termék értékesitése megnehezül.

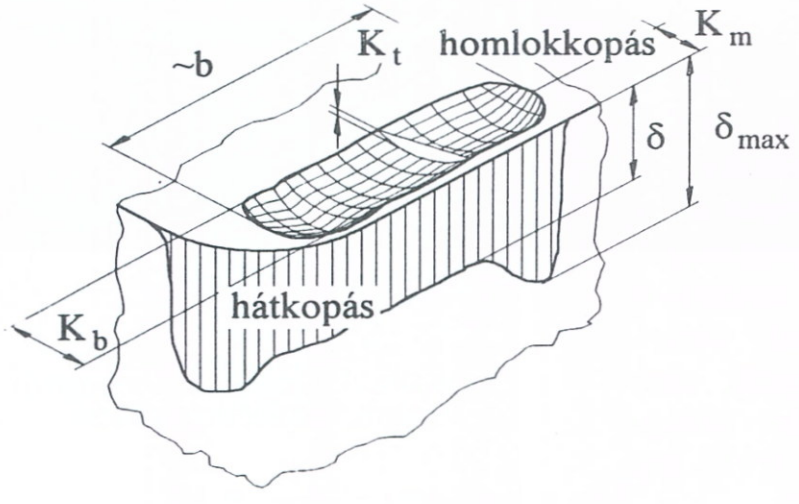
6.1.2. Szerszámelhasználódás

Az anyagleválasztást végző forgácsolóék a forgáccsal, valamint a munkadarabbal való érintkezés hatására elhasználódik.

Megkülönböztetünk:

a) rendszeres, (normális) elhasználódást vagy kopást, (6.11. ábra)
- hátfelület kopása, vagy hátkopás VB;
- homlokfelület kopása, vagy kráteres kopás K_t;
- az élek kopása, vagy csúcskopás

b) véletlen elhasználódás
- él kipattogás
- éltörés
- szerszámtörés



6.11. ábra. Szerszámkopás

A kopás okai és fizikai alapjai:

A szerszám és munkadarab között bonyolult termomechanikai terhelés, mechanikai surlódás, adhéziós kölcsönhatás, diffuziós oldódás, oxidáció, elektroeróziós jelenségek játszódnak le. Mindezek egy az utóbbi elhasználódási görbével jellemezhető tönkremenetelnek, a forgácsolóképesség megszűnéséhez vezetnek.

A kopás főbb következményei:

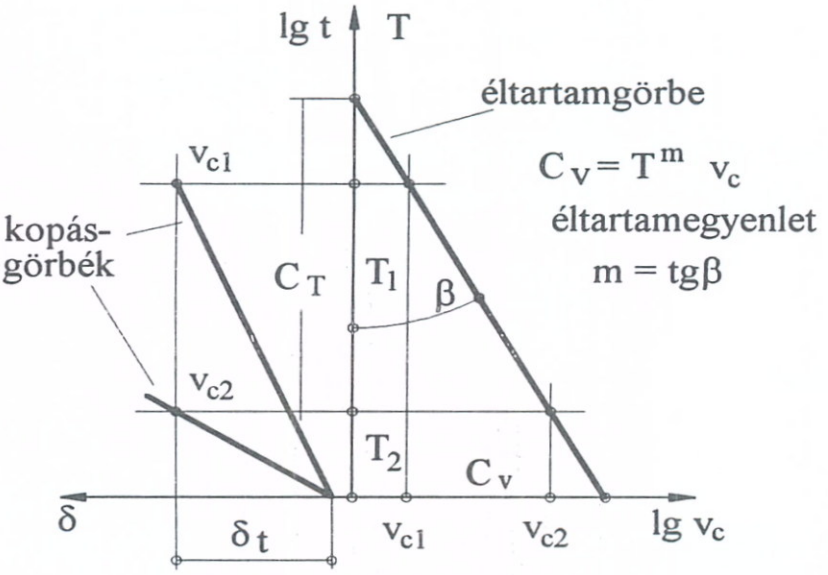
- a termomechanikus terhelés, elsősorban az erők, különösen az F_n összetevő növekedése;
- a megmunkálási hibák növekedése, ide értve a makró-jellegű méret- és alakhibát, valamint a felületi érdességet is;
- a kopás maga az egész rendszer megbízhatóságát csökkenti, növelve egy nagyobb mérvű károsodás veszélyét.

6.1.3. Szerszáméltartam

Meghatározás:

Éltartam: az az idő, amelyet a szerszám utánélezés vagy csere nélkül forgácsolásban eltölt.

Éltartamkritérium: az éltartamot egy, a maximálisan megengedhető kopásnagyság formájában megadott éltartamkritérium korlátozza, ami a szerszámnak adott feltételek melletti felhasználhatóságával kapcsolatos (6.12. ábra).



6. 12. ábra. T - δ - v_c összefüggés

Az éltartamot ugyanazok a tényezők befolyásolják mint a kopást, mivel az éltartam a kopás odőtartományba történő transzformálását jelenti. A kopottság megitélését a kopásnagyságnak a forgácsolási sebességtől való függőségen keresztül lehet elvégezni, mivel TAYLOR szerint az fejti ki a legnagyobb - döntő - hatást az éltartamra. Ezeket a hatásokat a 6.12. ábrán lévő kopás- és éltartamgörbék fejezik ki. A görbék alapján az éltartamegyenlet:

$$C_v = T^m v_c \quad \text{- Taylor összefüggés}$$

vagy T-re rendezett formában:

$$T = \frac{C_T}{v_c^{z_T}}$$

ahol:

T [min] - éltartam

C_v; C_T; m; z - állandók

δ_t - megengedhető kopás

$$m = \frac{l}{z_T} \qquad C_v = C_T^m$$

A bővített Taylor formula nem hanyagolja el a forgácsméretek éltartamra kifejtett hatását sem.

$$T = \frac{C_T}{v_c^{z_T} f^{x_T} a^{y_T}}$$

További, az éltartamot befolyásoló tényezők, például: szerszámanyag-munkadarab-anyag párositás; hűtés-kenés; szerszámgeometria; a megmunkáló-rendszer stabilitása (rezgések); megengedhető kopás, stb.

6.1.4. Megmunkálási idő

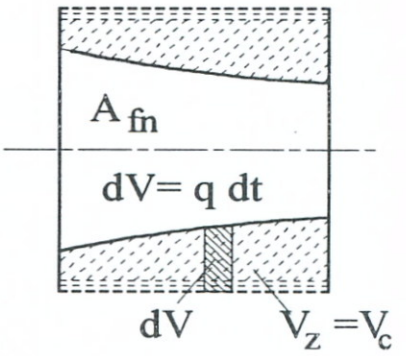
A munkadarab térfogatának csökkenésével fejezhető ki (6.13 ábra), a következő differenciálegyenlet segítségével:

$$\frac{dV}{q_c} = dt$$

ahol: dV állapotváltozás differenciálja; dt - idődifferenciál.

A forgácsolási idő (egy munkadarabra)

$$t_c = \int \frac{dV_z}{q_c}$$ - a darabidő integrálja



6.13. ábra. Forgácsolási idő

ahol:

V_Z - a munkadarabról a szóbanforgó művelet során eltávolítandó anyagtérfogat.

V- egységnyi időintervallum alatt leválasztott forgácstérfogat

A megmunkálás gépi főideje meghatározható az egyes fogásokhoz szükséges forgácsolási idő összegeként is:

$$t_c = \sum_{i=1}^{n} \frac{l_c}{v_f}$$

n= fogások száma.

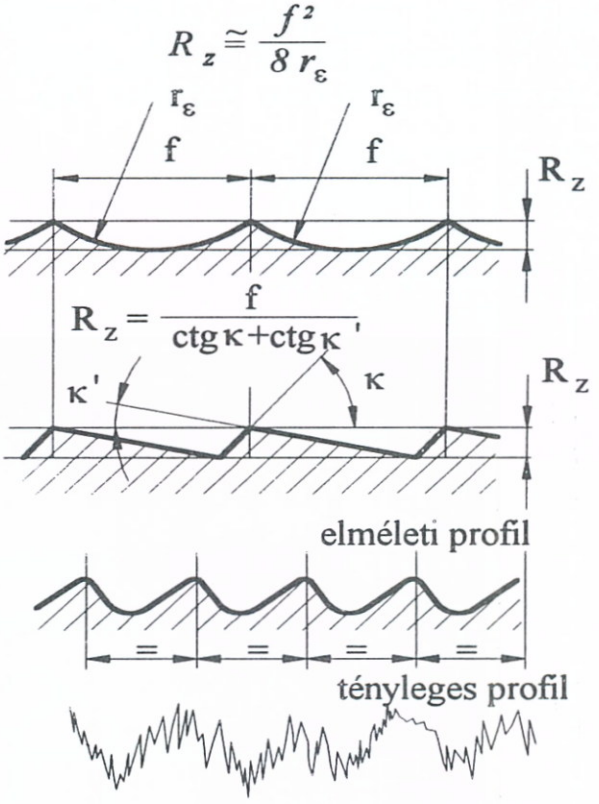
6.1.5. Felületi érdesség

A szerszám és a munkadarab kölcsönös mozgásának hatására a munkadarab M megmunkált felületén meghatározott irány(ok)ban érdességnek nevezett mikroegyenetlenség képződik. Ha az értelmezési irány azonos az előtolás irányával, akkor az érdesség nagysága és formája a v_f előtolási sebességétől és a szerszám csúcsközeli részének alakjától függ. Tehát az elméleti érdesség R_z nem más, mint a forgácsolóél csúcsközeli részének ismétlődő leképeződése (lenyomata), amelyet a forgácsolósebességre merőlegesen, az előtolási irányban értelmeznek és mérnek (6.14. ábra).

A gyakorlatban két esetet különböztetnek meg :

a/ a felületet egyedül a csúcsközeli részt képező körív alakú élszakasz alakítja ki, esztergálásnál, például, elősimitásnál és simitásnál lehet számolni ilyen érdességgel. Az érdességmagasság R_Z az r_ε csúcssugártól és a f fordulatonkénti előtolástól függ;

b/ a csúcssugár értéke elhanyagolható $r_\varepsilon \approx 0$, tehát az érdesség profilját a κ és κ' szögekkel jellemzett helyzetű fő- és mellékél alakitja ki (általában nagyolásnál).



6. 14. ábra. A forgácsolt felület mikroegyenetlenségei. Elméleti és tényleges érdesség.

Tényleges érdesség. Az elméleti érdességre több, különböző forrásokból származó érdesség rakódik, növelve a tényleges érdesség nagyságát. Ilyen járulékos érdesség, pl. a szerszámél saját érdessége; belső sorja; rézgésnyomok; élrátétnyomok, stb.

Sima felület, előállításához, illetve a felületi érdesség javításához az alábbi szempontokat kell figyelembe venni:

- forgácosló sebesség növelése
- fogásmélység és előtolás csükkentése
- a szerszám csúcssugarának növelése
- hűtőfolyadék alkalmazása
- stabil munkadarab és szerszámbefogás
- éles, pozitív geometriájú szerszám alkalmazása

6.1.6. Forgácsoló eljárások

Esztergálás

Az esztergálás a munkadarab forgó főmozgása mellett végzett anyageltávolítás, általában a főmozgás irányára merőleges síkban a forgácsolószerszám által végzett tetszőleges irányú előtolással. Az eljárás sajátossága, hogy a forgómozgás tengelye megtartja a munkadarabhoz viszonyitott helyzetét függetlenül az előtolómozgástól.

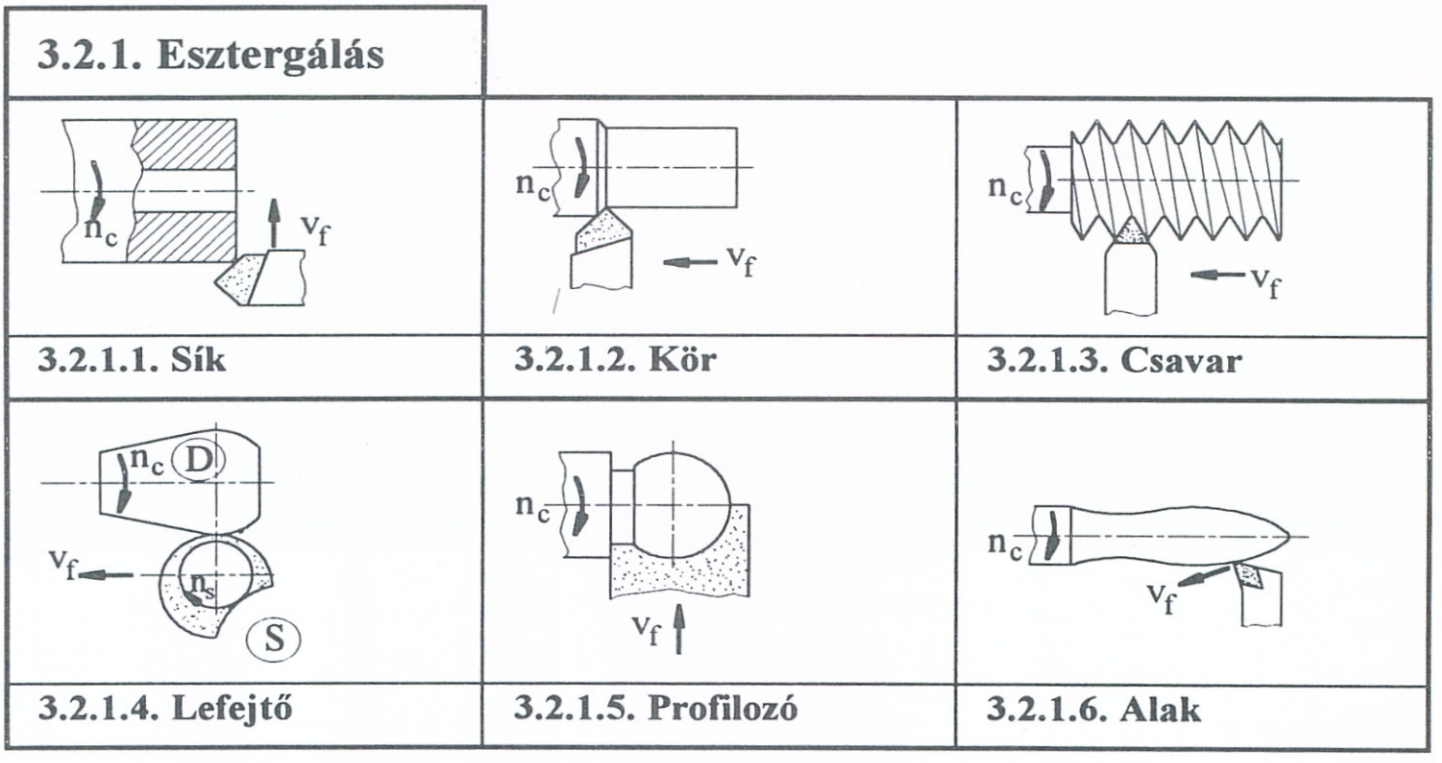
Az esztergálási mozgásviszonyoknak megfelelően az eljárás szerszáma a forgácsolókés, általában állandó vastagságú forgácsot választ le, és kevés kivételtől eltekintve, a munkadarabon önmagában átmenő transzlációs felületet hoz létre (csavar-; henger-; forgásfelület).

Osztályozás.

Az osztályozást (6.15 ábra) a megmunkálási eljárásokra elfogadott rendszer szerint lehet végezni:

Síkesztergálás, 3.2.1.1 - egy, a munkadarab forgástengelyére merőleges síkfelület előállítása forgácsolással.

Köresztergálás, 3.2.1.2 - egy, a munkadarab forgástengelyével egytengelyű körhengerfelület előállítása forgácsolással.



6.15. ábra. Eljárások osztályozása

Csavarfelület-esztergálás, 3.2.1.3 - csavarfelületnek profilos szerszámmal való forgácsolása, amelynél a p csavarparaméterrel jellemzett kötött kinematikai viszonyok alakulnak ki.

Lefejtőesztergálás, 3.2.1.4 - olyan forgácsolás, amelynél a megfelelő alapprofilú szerszám járulékos u.n. legördülő mozgást is végez forgásszimmetrikus vagy csavarfelület előállítása céljából.

Profilesztergálás, 3.2.1.5 - forgásszimmetrikus felület profilos szerszámmal való előállítása, a megmunkálás során a szerszám profilja a munkadarabon leképeződik.

Alakesztergálás, 3.2.1.6 - olyan forgácsolás, amelynél a munkadarab alakját az előtolómozgás megfelelő vezérlésével állitják elő.

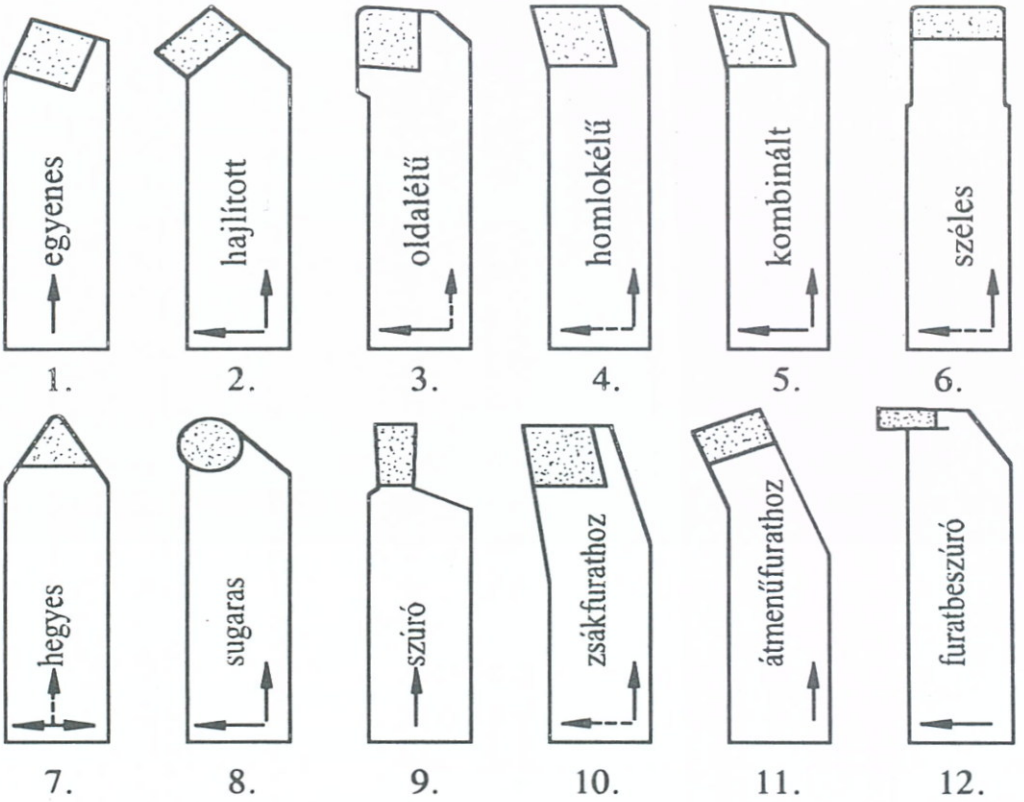
A további osztályozási elv, szempont lehet a mozgásirány, tehát: hosszesztergálás; keresztesztergálás; a megmunkálandó felületoldal, mely szerint megkülönbőztetnek külső- és belsőesztergálást.

A célkitüzésektől függően (termelékenység; pontosság) az esztergálási eljárásokat fokozatokra osztják fel, amelyek közül a három alapvető:

- nagyolás, (a=2-6μm, f=0,2-0,6μm /ford)
- simítás (a=1-2μm, f=0,1-0,2 ")
- finomítás. (a=0,5-1μm, f≤0,1 ")

Forgácsolókések

A munkadarab előírt felületének előállításához megfelelő szerszámra van szükség. A



6. 16. ábra. Forgácsolókések alaptípusai

szerszám megfelelőnek tekinthető, ha geometriailag alkalmas a felületleképzésre, megfelelő élgeometriával rendelkezik, anyaga forgácsolásra alkalmazható és a megfelelő pontosság mellett a forgácsolás a szerszámmal gazdaságosan végezhető.

A forgácsolókésekre mindaz érvényes, ami a "Gyártóeszközök" c. fejezetben megtalálható, figyelembe véve, hogy:

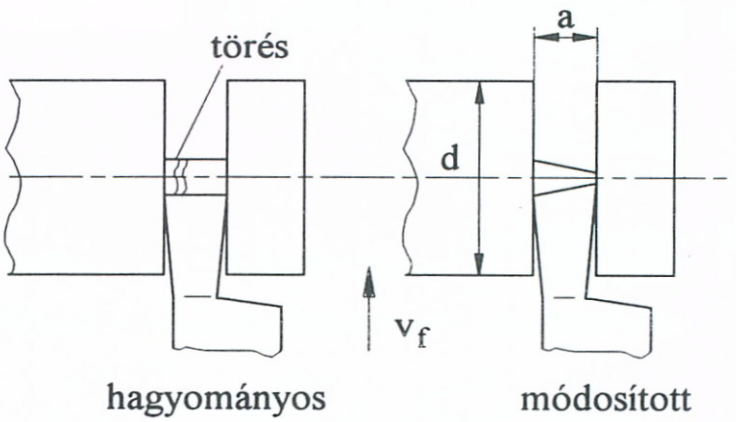
- forgácsolókések esetében viszonylag magas a keményfém és kerámia szerszámanyag részaránya;
- a szerszámkivitelt tekintve magas, és egyre növekszik az igen korszerűnek tekinthető váltólapkás kivitel aránya.

A 6.16. ábrán körvonal-rajzukkal mutatjuk be a gyakorlatban használt forgácsolókések főbb tipusait. Ezek szabványos, a kereskedelemből különböző méretekben beszerezhető szerszámok. A csavarfelület forgácsolásához, lefejtő-esztergáláshoz, profilesztergáláshoz speciális, egyedi szerszámokra van szükség.

Néhány, eljárásspecifikus probléma:

Keresztirányú síkesztergálás. Minden keresztirányú megmunkálás végezhető állandó n_c=const fordulatszámmal, vagy v_c=const állandó forgácsolósebességgel. A különbséget elsősorban az éltartam és a forgácsolási idő számításánál kell figyelembe venni

Szúróesztergálás. Leszúrási változata igen nehéz forgácsolási eljárás, amely erősen igénybe veszi a szerszámot és nagy selejtveszéllyel jár. Megkönnyiti a forgácsolást, ha a szerszámot megfelelő κ elhelyezési szöggel látják el: ezzel a szerszámtörés veszély csökken és a forgácsolás a forgástengelyig végezhető (6.17. ábra).



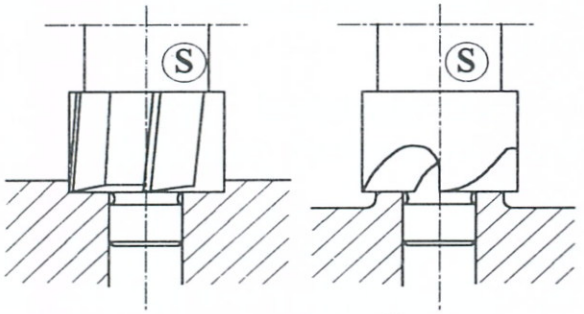
6. 17. ábra. Leszúrás

Fúrás, süllyesztés, dörzsölés

A furás, süllyesztés és dörzsölés forgó forgácsolómozgással végzett anyageltávolítás, amelynél a szerszám csak forgástengelyirányú előtolómozgást végez. A forgácsolómozgás forgástengelye megtartja a szerszámhoz és munkadarabhoz viszonyított helyzetét, függetlenül az előtolómozgástól (szerszámhoz és munkadarabhoz kötött forgástengely). A három eljárás alcsoport az esztergálásnál említett nagyolás, simítás, finomítás megmunkálási fokozatoknak felel meg.

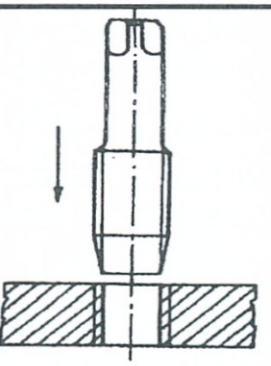
Megjegyzés: Nem tartozik a "fúrás, süllyesztés és dörzsölés" fogalomkörébe a furatesztergálás és furatmarás, amelyeknél a forgástengelyirányú előtolómozgáshoz egy erre merőleges kiegészitő előtolómozgás is tartozhat.

A fúrás, süllyesztés és dörzsölés összefoglaló neve furatolás, melynek osztályozása hasonló az egyéb eljárásoknál alkalmazottal (6.18 ábra), de meghagyja a korábbi osztályozásnál használt speciális elnevezéseket, mint felfúrás, süllyesztés, dörzsölés is.



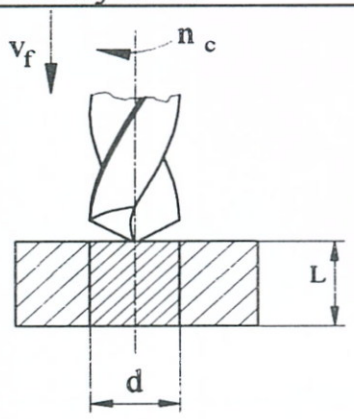
Besüllyesztés ...2 Rásüllyesztés ...1

3.2.2.1. Síksüllyesztés

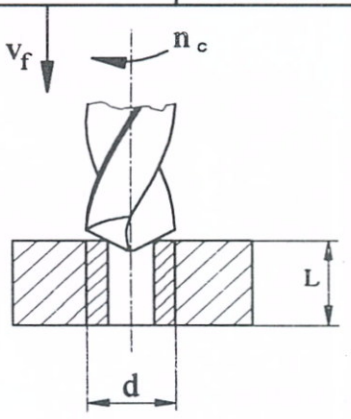


Menetfúrás ...1

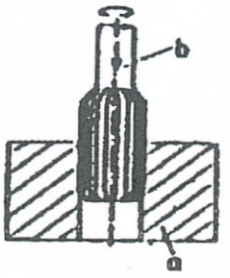
3.2.2.3. Csavarfelület fúrás



Fúrás ...1

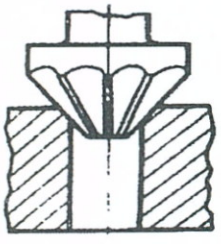


Felfúrás ...2

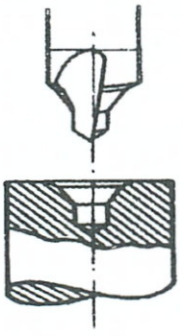


Dörzsölés ... 4

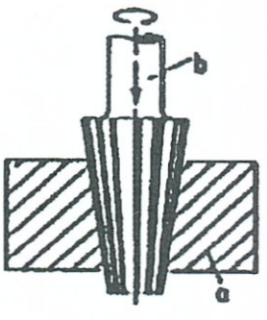
3.2.2.2.Körfúrás



....2 Profilozó fúrás

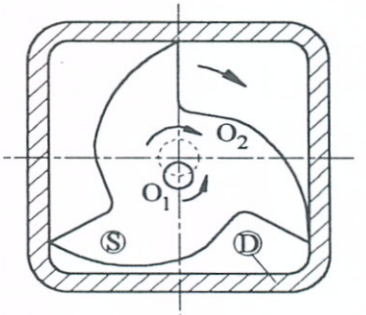


....1 Profilozó süllyesztés



....4 Profilozó dörzsölés

3.2.2.5. Profilozás



...1 Alakfúrás

3.2.2.6. Alakfúrás

6. 18. ábra. Furatmegmunkáló eljárások felosztása

Osztályozás

Síksüllyesztés, 3.2.2.1 - olyan süllyesztés, amellyel a forgácsolás tengelyére merőleges sík felületet állitanak elő.

Körfúrás, 3.2.2.2 - olyan megmunkálás, amellyel egy belső körhengeralakú, a szerszám forgástengelyével egytengelyű belső felületet állitanak elő.

Csavarfelület-fúrás, 3.2.2.3 - a szerszám forgástengelyével egytengelyű belső csavarfelület fúrása csavarmenetprofilú szerszámmal egy meglevő vagy előfúrt lyukban. Ide tartozik elsősorban a menetfúrás.

Profilozó fúrás, 3.2.2.5 - profilos szerszámmal végzett megmunkálás olyan forgásszimmetrikus belső felület előállitása céljából, amelyet a szerszám főélének profilja határoz meg, például, központfúrás.

Alakfúrás, 3.2.2.6 - vezérelt fő- és mellékmozgással végzett, belső felület előállitási eljárás, nem forgásfelületekhez, pl. szabályos sokszögalakú lyukakhoz.

A furatolás szerszámai szabályosan többélű szerszámok, melyeknél a mellék élek a megmunkált felület kalibrálását, tisztítását végzik el.

Néhány speciális probléma.

A furatok helyzetpontosságának növelésére alkalmazzák a rövid, merev szerszámmal végzett központfúrást. Terhelhetőségi és deformációs problémák miatt a telibefúrást csak ϕ15 mm kisebb furatnál ajánlatos használni.

Az egyes eljárásokkal elérhető pontosság és felületi érdesség

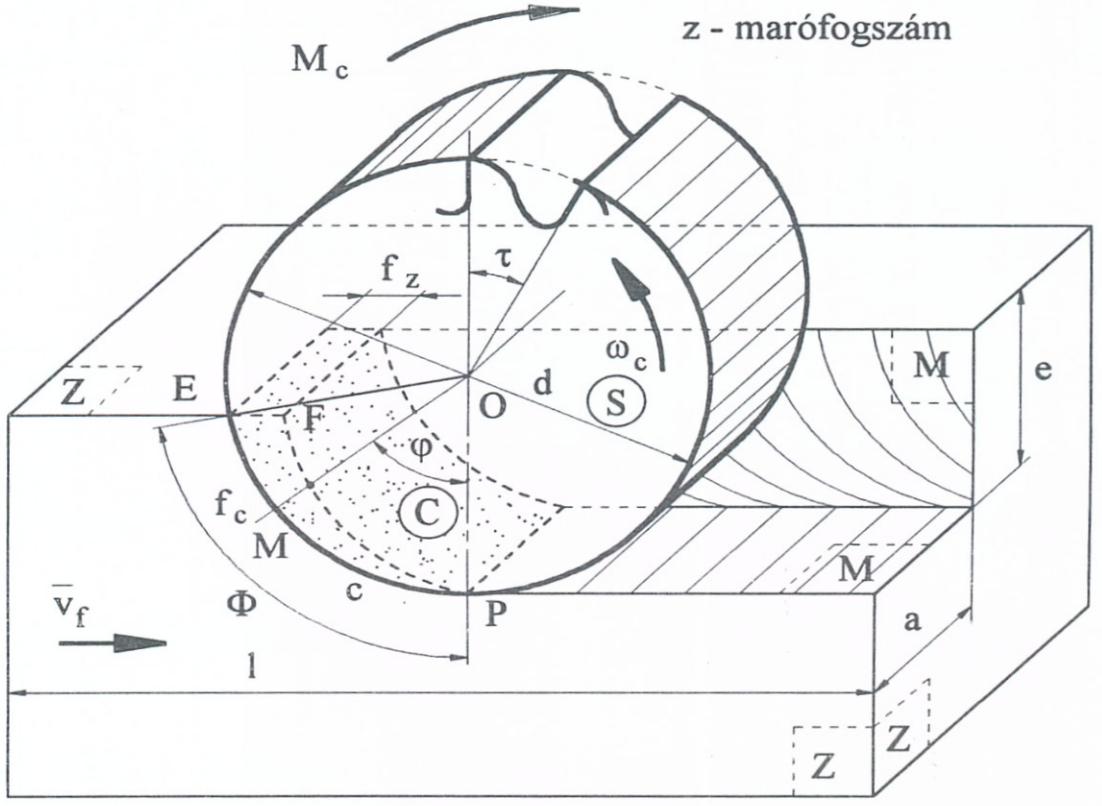
	Pontosság	Érdesség (μm)
Telibefúrás	IT 10-12	≈5
felfúrás	≈IT 9-11	≈2,5
süllyesztés	≈ IT 8	≈1,25
dörzsölés	≈ IT 7	≈0,63

Marás

A marás többélű szerszám forgó forgácsolómozgásával, a szerszám tengelyére általában merőleges előtolással végzett, változó forgácskeresztmetszetű forgács szakaszos leválasztása útján megvalósuló forgácsolás, tetszés szerinti, de általában sikok, hornyok, körhenger, hasábfelületek előállitására (6.19. ábra). Az eljárás szerszáma a maró többélű,

szabályos élgeometriájú, gyorsacél- vagy keményfémanyagú, forgásfelület alakú származtató felülettel rendelkező forgácsolószerszám.

A marás széles körben elterjedt eljárás, részaránya a forgácsolásban kb. 20%, ami elsősorban az eljárás előnyös tulajdonságaival kapcsolatos: több forgácsolóél, ami a termelékenységet növeli (a gyaluláshoz viszonyitva); és nagy pontosság.



6.19. ábra. A marás általános vázlata

Osztályozás.

A marási eljárások felosztásának szempontjai lényegében azonosak az egyéb eljárásnál alkalmazottakkal, de vannak sajátosságai is.

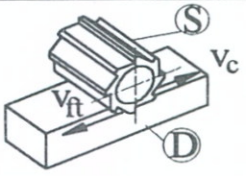
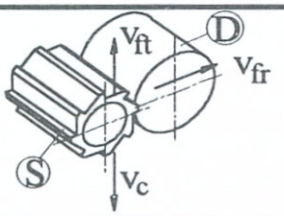
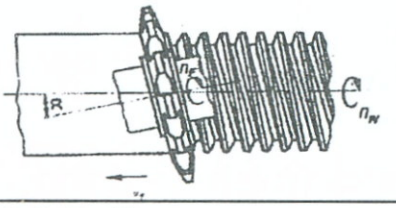
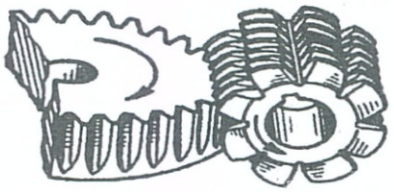
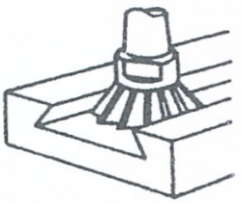
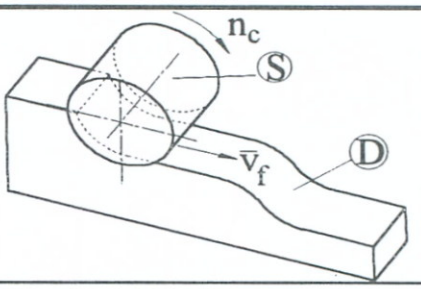
Hagyományosan, a szabványostól elterően, a marást két csoportra osztják:

a/ homlokmarás: amikor a felületkialakítást a szerszám homloksíkjában elhelyezkedő fogak végzik;

b/ palástmarás: a felületkialakítást a szerszám palástfelületén elhelyezkedő fogak végzik.(6.20 ábra).

A rendszerszemléletű osztályozás első szintje a megmunkált felület tipusa és a mozgásviszonyok (kinematika) szerint történik. A 3.2.3. alcsoport-rendszám alapján a változatok:

Sikmarás, 3.2.3.1 - általában egyenesvonalú előtolómozgással végzett marás, síkfelület előállítása céljából.

3.2.3. Marás		
		
3.2.3.1. Sík	3.2.3.2. Kör	3.2.3.3. Csavar
		
3.2.3.4. Lefejtő	3.2.3.5. Profilozó	3.2.3.6. Alak

6.20. ábra. Marás, osztályozás, felosztás

Körmarás, 3.2.3.2 - köralakú előtolómozgással végzett marás körhengeralakú felület előállítása céljából .

Csavarfelület-marás. 3.2.3.3 - csavarvonal alakú előtolómozgással végzett marás, csavarfelület előállitása céljából.

Lefejtőmarás, 3.2.3.4 - olyan marás, amelynél a megfelelő profilú (alapprofilú) szerszám és a munkadarab, illetve annak előállitandó felülete között legördülő mozgás jön létre, és a szerszámél vagy- felület a munkadarab felületét lefejtéssel állitja elő. Például: fogaskerekek lefejtőmarása.

Profilozómarás, 3.2.3.5 - olyan forgácsoló eljárás, amelynél a maró élének, vagy a származtató felületének profilja (tengelymetszetben) a munkadarabon leképeződik.

Alakmarás, 3.2.3.6 - olyan marás, amelynél az előtolómozgást egy vagy több irányban különböző eljárással vezérlik, gyakorlatilag tetszőleges alakú (profilos) felületek előállitására .

A felsorolt változatok magyarázó ábrai a 6.20 ábra összefoglaló táblázatában találhatók.

Sajátosságok, fogalmak, mennyiségek

A marási eljárás egyik sajátossága, hogy a forgószerszám fogai (élei) fordulatonként kerülnek fogásba és hagyják el a munkadarabot, ennek megfelelően meghatározott hosszúságú, változó vastagságú forgácsot választanak le (6.21 ábra).Egy másik lényeges sajátosság, hogy a z fogszámú szerszám egyidejűleg forgácsolásban lévő fogainak száma i - az u.n. kapcsolási szám - általában változó értékű. A fenti két sajátosság erősen növeli a folyamat dinamikus jellegét.

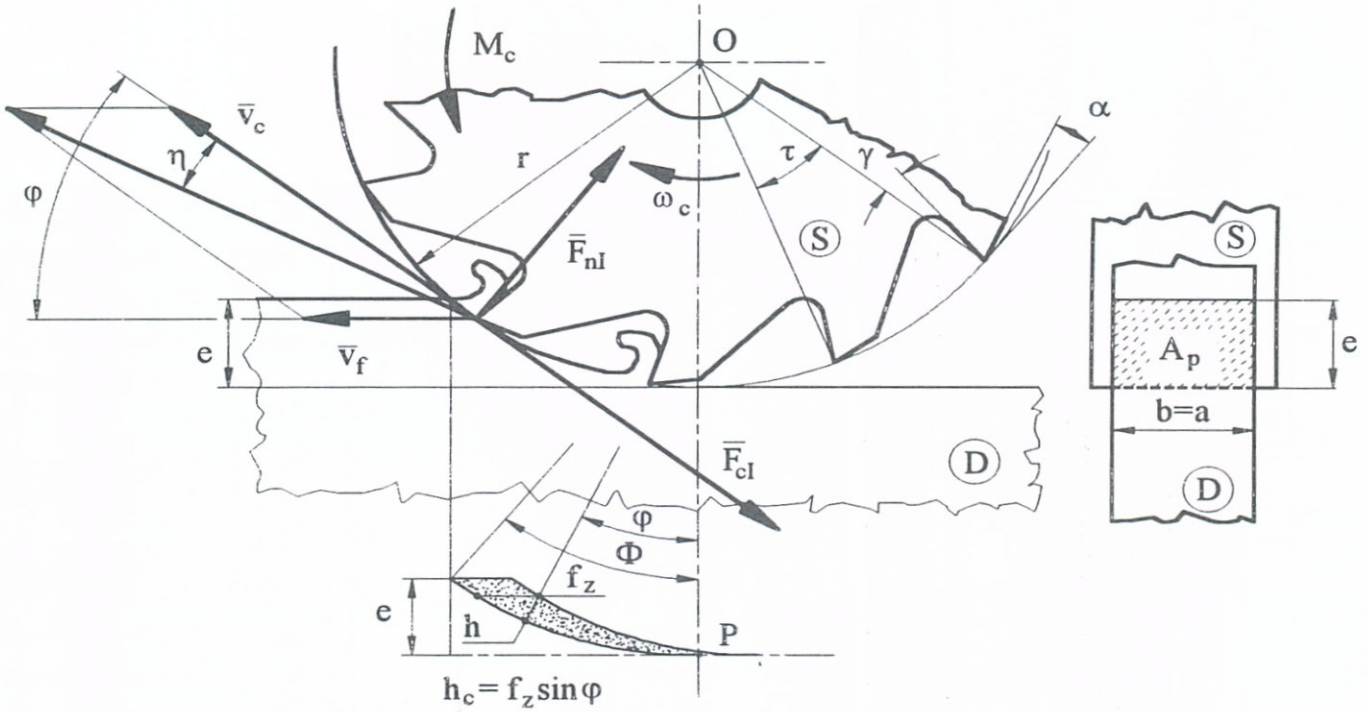
Mozgások, forgácsolási adatok. A három, már ismert alapadat - sebesség; előtolás; fogásméret - marásnál egy negyedikkel az **e** kapcsolódási mérettel bővül. Ez a mennyiség szoros kapcsolatban van a ráhagyással, annak egyik meghatározó mérete (6.26 ábra).

v_c - **forgácsolósebesség**. Marásnál a termelékenységet, vagy anyagleválasztási sebességet csak közvetve befolyásolja;

v_f - **előtolósebesség.** Az f_z fogankénti előtoláson kivül a fordulatszámtól és a szerszámfogszámtól függ:

$$v_f = n_c f = n_c z f_z, \; vagy \; f_z = \frac{v_f}{n_c z}$$

f_z- fogankénti előtolás, a fog(él) terhelését meghatározó mennyiség; függ a v_f előtolási

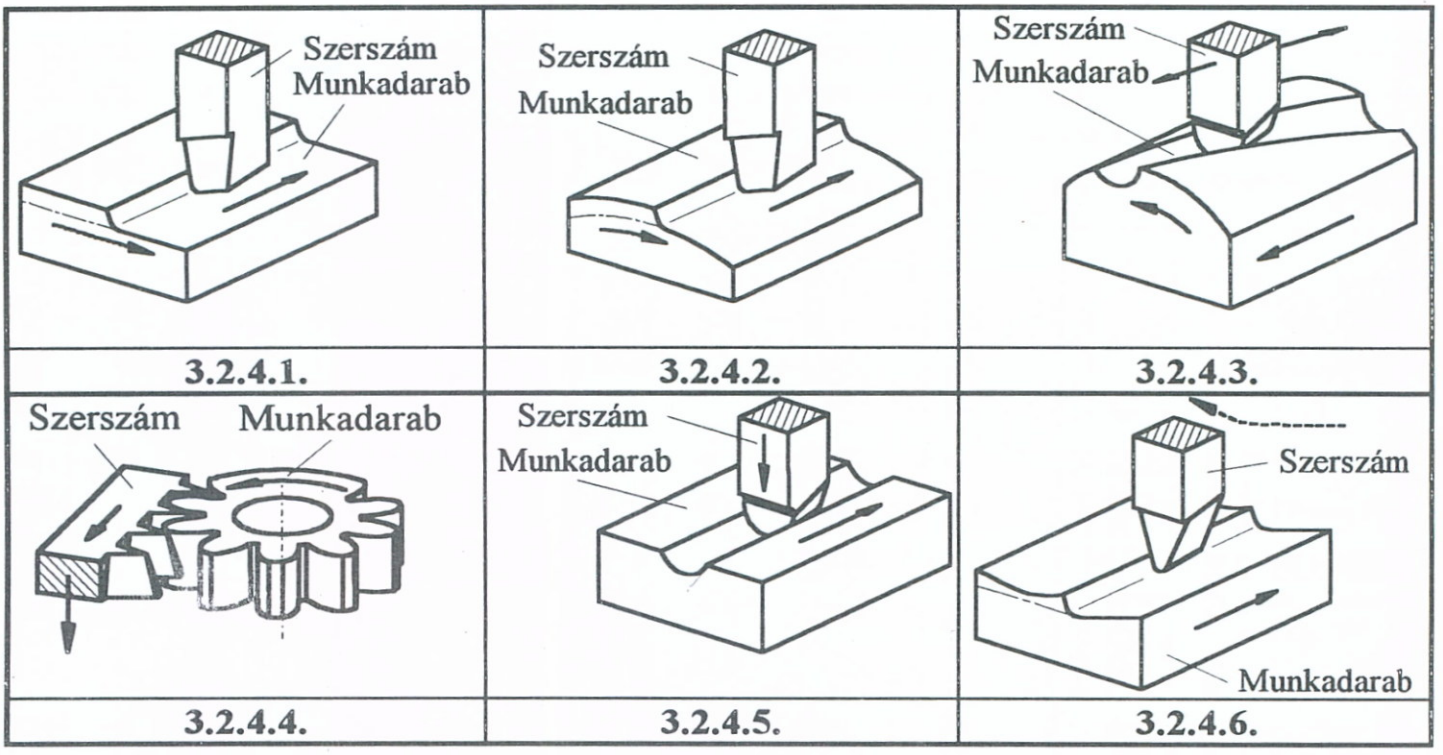


6. 21. ábra. Marási fogalmak és mennyiségek

sebességtől és a fogszámtól.

Gyalulás

A gyalulást síkok, hornyok és általában egyenes alkotójú (hasáb;henger) felületek megmunkálására alkalmazzák. A gyalulás során állandó keressztmetszetű forgács szakaszos leválasztása valósul meg, egyélű szerszámmal, egyenesvonalú alternáló főmozgás mellett, melyet általában a szerszám végez (kivételt képez a hosszgyalugépen végzett megmunkálás), mig a mellékmozgás szakaszos, vagy ritkábban folytonos és általában a munkadarab végzi; ha a mellékmozgás a főmozgás ideje alatt szünetel, a gyalulás egyszerü munkamozgást igénylő forgácsolási mód.



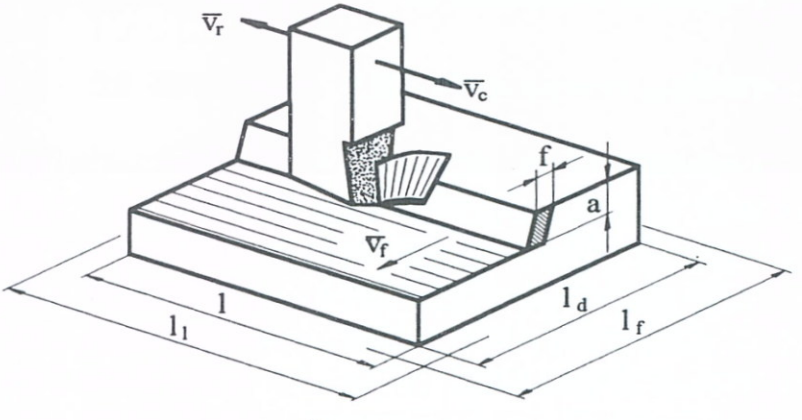
6.22. ábra. Gyalulási eljárások osztályozása

Osztályozás

A gyalulás -más forgácsoló eljárásokhoz hasonlóan- az alábbi változatokra osztható fel :

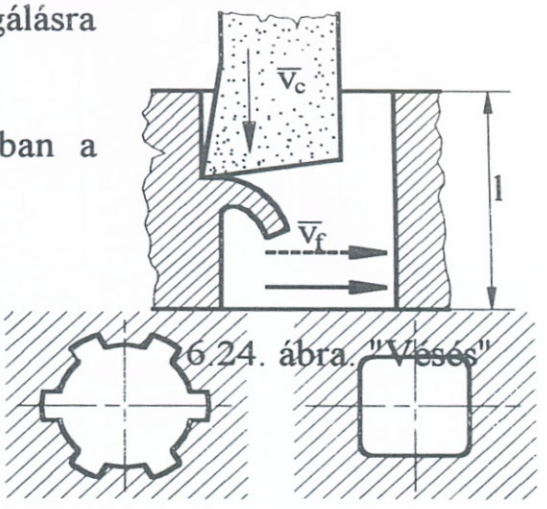
Síkgyalulás, 3.2.4.1
Körgyalulás, 3.2.4.2
Csavarfelület-gyalulás, 3.2.4.3
Lefejtőgyalulás, 3.2.4.4
Profilozó gyalulás, 3.2.4.5
Alakgyalulás, 3.2.4.6

A szerszám igénybevétele szempontjából a gyalulás a maráshoz áll közel: a munkalöket kezdetén és végén a szerszám ütésszerű igény-bevételt szenved, ugyanakkor üresjárati időben lehetősége van a hűlésre. A munkalöket alatti állapotokat figyelembe véve, ugyanakkor a gyalulás az esztergálással azonosítható. Pél-dául a 6.23. ábrán látható gyalulás, a forgácsméretek és a szerszámkialakitás szempontjából igen közel áll a hossz- vagy a keresztesztergáláshoz, az



6.23. ábra. Általános gyalulási ábra

6.24. ábrán lévő változat pedig a beszúróesztergálásra emlékeztet (végtelen sugarú munkadarab esztergálása).



6.24. ábra. "Vésés"

Megjegyzés: a gyalulás egyes változatait - elsősorban a függőleges gyalulást - korábban vésésnek nevezték.

Üregelés

Az üregelés - forgácsolás olyan többfogú szerszámmal, végzett anyageltávolítás, melynek során a szerszám fogai egymás mögött lépcsőzve helyezkednek el és az egyes lépcsők mérete - a fogemelkedés - megegyezik a forgácsvastagsággal. Az üregelés előtolómozgás nélkül, egyszerű munkamozgással valósul meg, az előtolómozgást a fogak lépcsőzése helyettesiti (szerkezeti előtolás). Az üregelőszerszám utolsó fogainak a profilja- általában - megegyezik a munkadarabon elkészítendő profillal.

6.25. ábra. Néhány, üregeléssel előállítható jellemző alakzat

Az üregelési eljárás folyamán az általában egyenesvonalú mozgást végző szerszám egyszer halad át a munkadarabon és egyidejüleg készre munkálja annak felületét, miközben fogai állandó keresztmetszetű forgácsot választanak le.

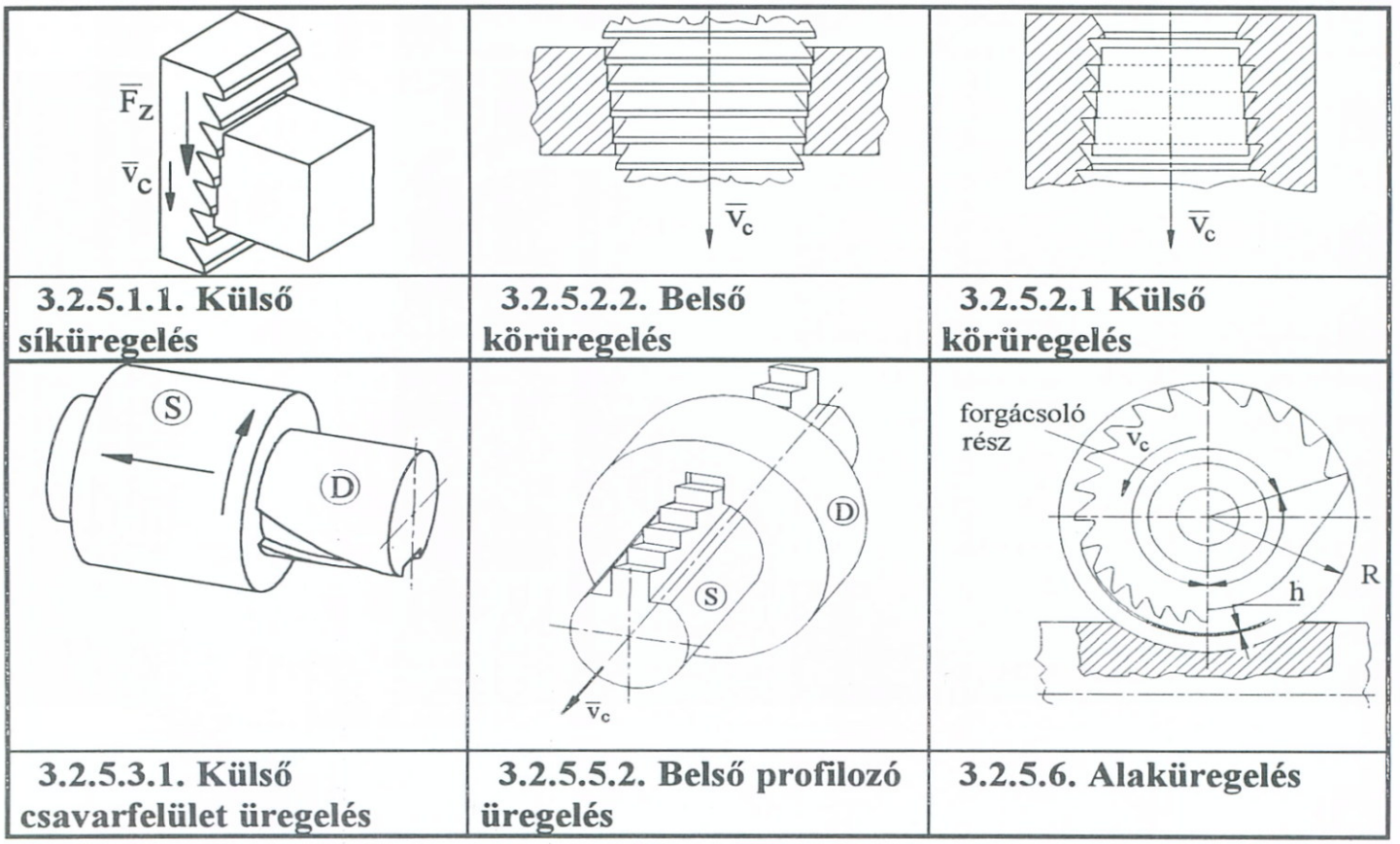
Néhány jellegzetes, üregeléssel előállitható felület, a 6.25. ábrán látható.

Osztályozás

Az üregelési eljárásokat az egyéb eljárásokhoz hasonlóan osztályozzák, ahol a fő osztályozási szempont a kialakitandó felület tipusa, az alkalmazott szerszám és mozgásviszonyok:

Síküregelés, 3.2.5.1
Körüregelés, 3.2.5.2
Csavarfelület-üregelés, 3.2.5.3
----------,3.2.5.4
Profilozó üregelés, 3.2.5.5
Alaküregelés, 3.2.5.6

Üregelés esetében a szerszámgép és a szerszám kialakítása szempontjából különös jelentőséggel bír a külső és belső üregelésre való felosztás (6.26. ábra), ami rendszámban az ötödik helyen mutatkozik.



3.2.5.1.1. Külső síküregelés	3.2.5.2.2. Belső körüregelés	3.2.5.2.1 Külső körüregelés
3.2.5.3.1. Külső csavarfelület üregelés	3.2.5.5.2. Belső profilozó üregelés	3.2.5.6. Alaküregelés

6.26. ábra. Üregelési eljárások osztályozása

Fűrészelés

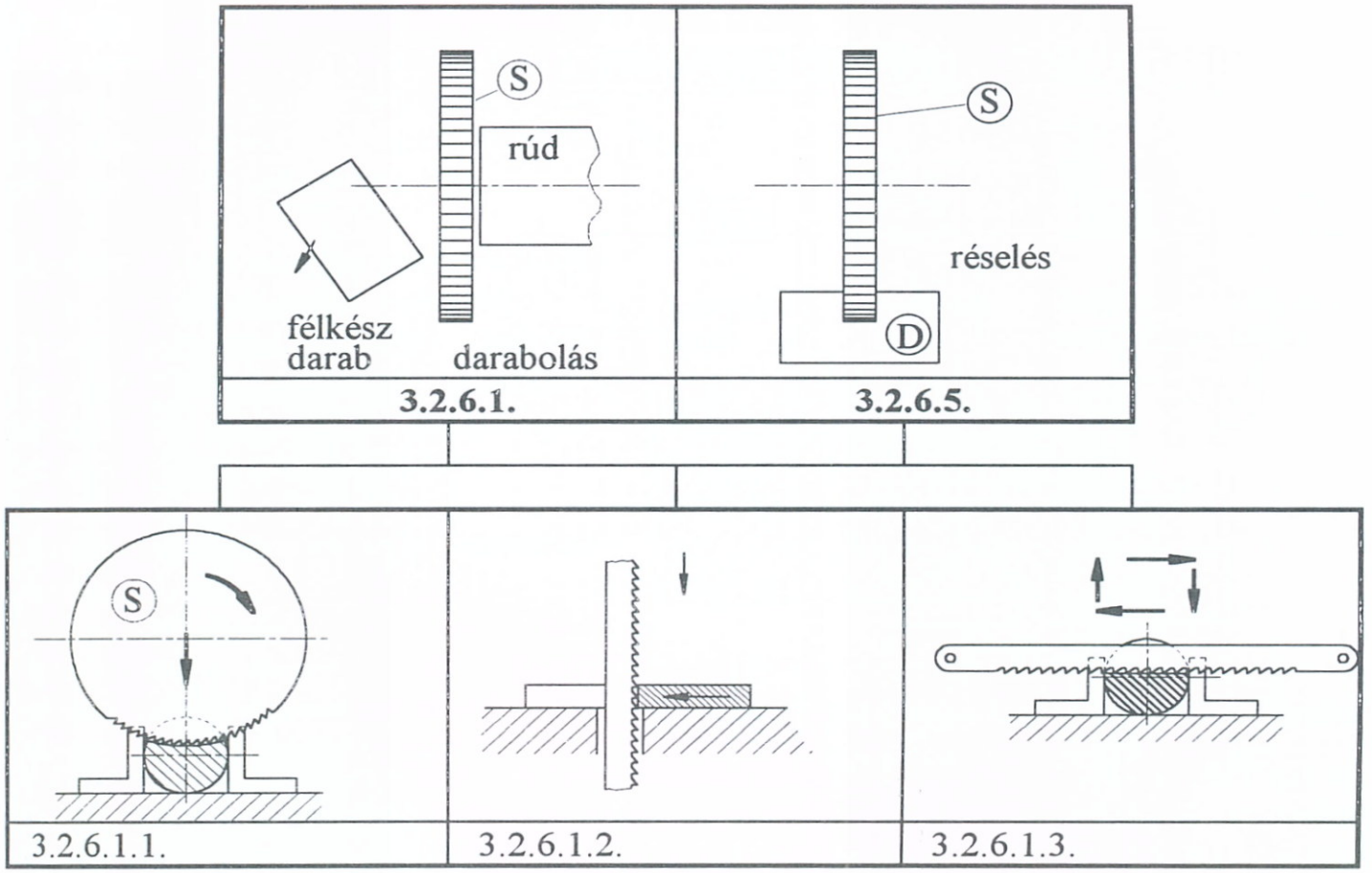
A fűrészelés köralakú (forgó) vagy egyenes vonalú folytonos vagy váltakozó forgácsolómozgással keskeny (kis élszélességü) többélű szerszámmal - fűrésszel - való forgácsolás, melynél a forgácsolómozgást a szerszám végzi.

Osztályozás:

Egyéb forgácsolási eljárásokhoz hasonlóan a fűrészelési eljárásokat elsősorban a kinematikai-geometriai szempontok alapján osztályozzák (6.27. ábra).

Sikfűrészelés,3.2.6.1
A síkfűrészelés korábbi értelmezés szerint lényegében **darabolás**, a profilozófürészelés pedig a **réselés** vagy **horonymarás**. A fentieken kívül egyéb eljárások is értelmezhetők. További osztályozási szempont az alkalmazott szerszám, illetve a főmozgás jellege:

. . . . .1 - Tárcsás fürészelés, a többélű, köralakú, kis vastagságú szerszámmal - fűrésztárcsával-végzett fűrészelés, ahol az előtolómozgás merőleges a szerszám forgástengelyére. A meghatározásból következik, hogy kinematikai és forgácsolástechnológiai szempontból igen közel áll, illetve esetenként azonos a tárcsamaróval végzett horonymaráshoz.



6.27. ábra. Fűrészelési eljárások osztályozása

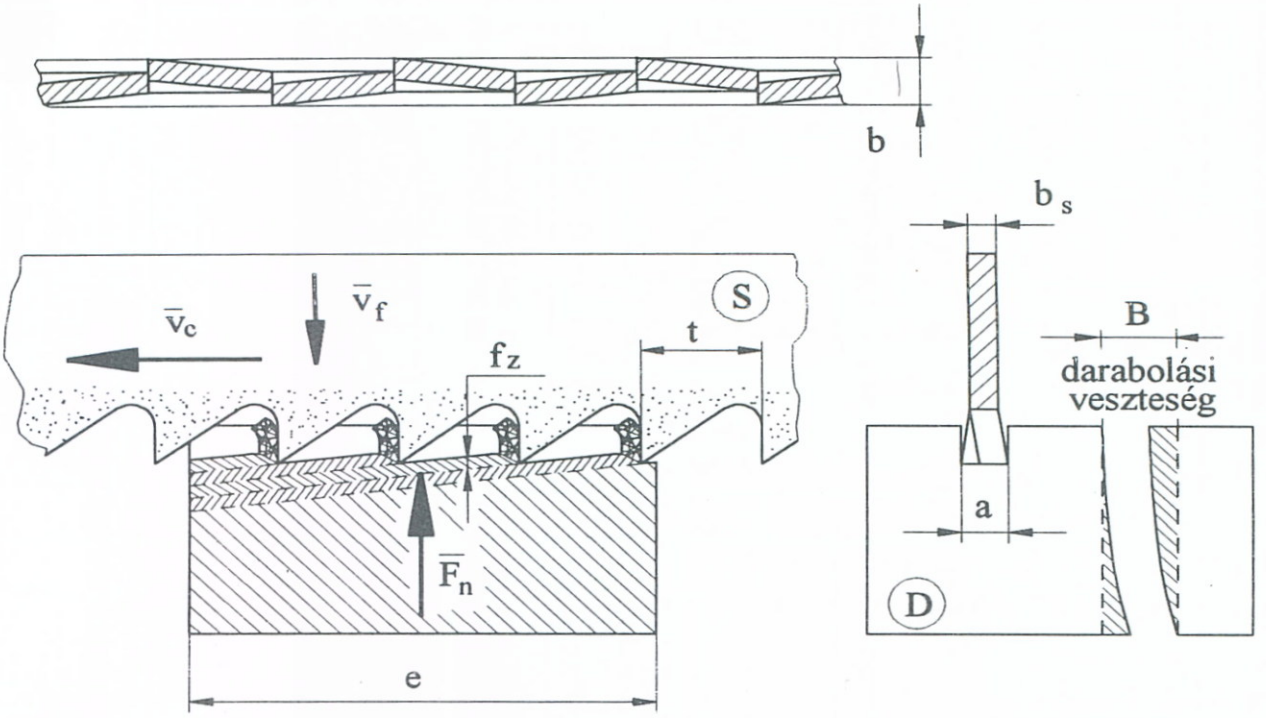
Ezt az egyébként nagytermelékenységű eljárást olyan esetekben célszerű alkalmazni, amikor a munkadarab anyagának ára alacsony, mivel az eljárásra a viszonylag vastag szerszám miatt nagy vágási anyagveszteség jellemző. Az alkalamazott szerszámanyag szerszámacél, gyorsacél, eseténként keményfém, kivitele tömör, hegesztett, vagy szerelt. Az alkalmazott forgácsolási adatok:v_c=16....32[m/min]; f_z=0.20....0.32[mm] - gyorsacélra; v_c=80....160[m/min]; f_z=0.10...0.20[mm] - keményfémre. Az értékek átlagos tulajdonságú szerkezeti acél darabolására érvényesek.

. . . . .2 - Szalagfűrészelés, egyenes vonalú forgácsolómozgással, többélű, keskeny, végtelenitett szalagalakú szerszámmal, a szalagfűrészszel végzett, általában daraboló fűrészelés, folytonos előtolómozgás mellett.

Az eljárás előnye a viszonylag nagy w[cm^2/min] vágási sebesség és a vékony szerszámmal kapcsolatos alacsony értékű vágási veszteség, de a vékony szerszám ugyanakkor csökkenti a folyamat stabilitását, ami a vágásnyom ferdeségében és ezen keresztül (utánmunkálás esetén) az összes anyagveszteség növekedésében nyilvánul meg (6.28 ábra).

Az alkalamazott szerszám anyaga szerszámacél, hegesztett kivitelben gyorsacél. A használatos sebességtartomány v_c=10...100[m/min]

. . . . .3 - Löketes fűrészelés, egyenesvonalú váltakozó forgácsolómozgással, többélű, keskeny, hosszabb szerszámmal (fűrészlappal) végzett, általában daraboló fűrészelés, ahol az előtolómozgás a forgácsolómozgásra merőleges és azzal a jellegzetességgel bír, hogy forgácsolás közben folytonos, ezért a munkalöket végén a szerszámot ki kell emelni



6.28. ábra. Fűrészelés

és igy visszahúzni, majd a következő munkalöket előtt visszaengedni a munkadarabra.A szakaszos forgácsolómozgásból következik, hogy egyéb eljárásokhoz viszonyitva a löketes fűrészelés termelékenysége alacsony, ugyanakkor a vágási veszteség is kisebb. Az alacsony termelékenység ellenére a löketes fűrészelés terjedt el leginkább a gyakorlatban.

A folyamat vizsgálatánál, a technológiai tényezők megválásztásánál a fűrészlapos darabolást lényegében úgy tekinthetjük - legalább is a munkalöket során - mint egy szalagfűrészes eljárást és a számítások ennek alapján végezhetők.

6.2. Abrazív megmunkálások

Az abrazív megmunkálás olyan forgácsolási folyamat, melynek során egy adott felületről a felesleges anyag eltávolítása rendkívül apró részecskék (forgácsok) formájában, mechanikus karcolás révén valósul meg. A szerszám nagyszámú, szabálytalan alakú és orientációjú szemcsét tartalmaz. A szemcsék kötött formájú köszörűkorongokban vagy csiszoló hasábokban, csiszoló szalagokon, esetleg folyékony pasztákban helyezkednek el.

6.2.1 Abrazív megmunkálások osztályozása

A sokféle lehetséges osztályozásból célszerű az energiaátvitel jellege szerinti csoportosítást kiemelni. (6.29. ábra)

Pályához kötött abrazív megmunkálás

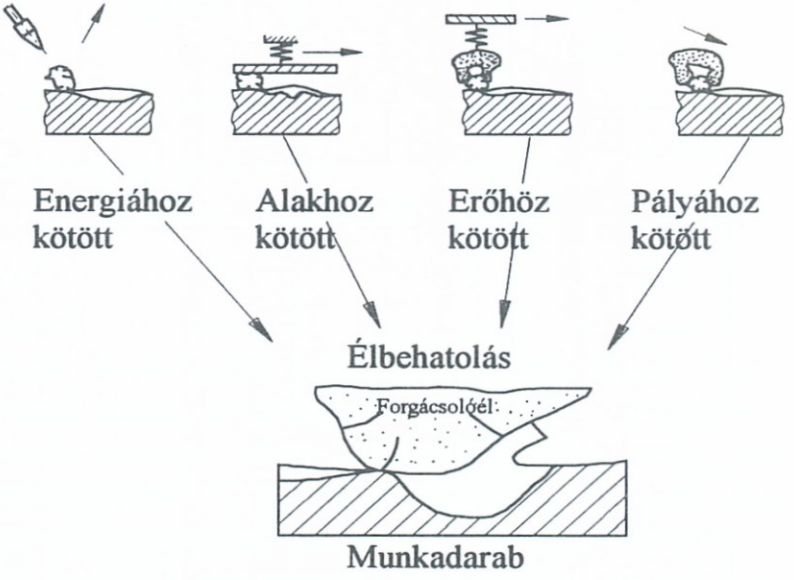
Az anyagleválasztás intenzitását a kötött szemcsés köszörűkorong és a munkadarab relatív mozgása határozza meg (palástköszörülés, síkköszörülés, csúcsnélküli kö-szörülés).

Erőhöz kötött abrazív megmunkálás

Az anyagleválasztás sebessége a kötött szemcsés csiszoló testekre, csiszoló szalagra ható merőleges nyomóerő függvénye (dörzsköszörülés, hónolás, szalagcsiszolás).

Alakhoz kötött abrazív megmunkálás

A relatív mozgás és a szemcsékre ható erő mellett, az anyageltávolításban a szemcse alakja játszik döntő szerepet (leppelés, polírozás).



6.29. ábra. A forgácsolóél anyageltávolításának lehetséges mechanizmusai (König)

Energiához kötött abrazív megmunkálás

Az anyageltávolítás intenzitását az abrazív sugár , a munkadarabnak ütköző szemcsék mozgási energiája határozza meg (abrazív sugaras vágás, ultrahangos megmunkálás).

A 6.1. pontban vázolt DIN szerinti osztályozás abrazív megmunkálásra kidolgozott változata 6.30. ábrán látható.

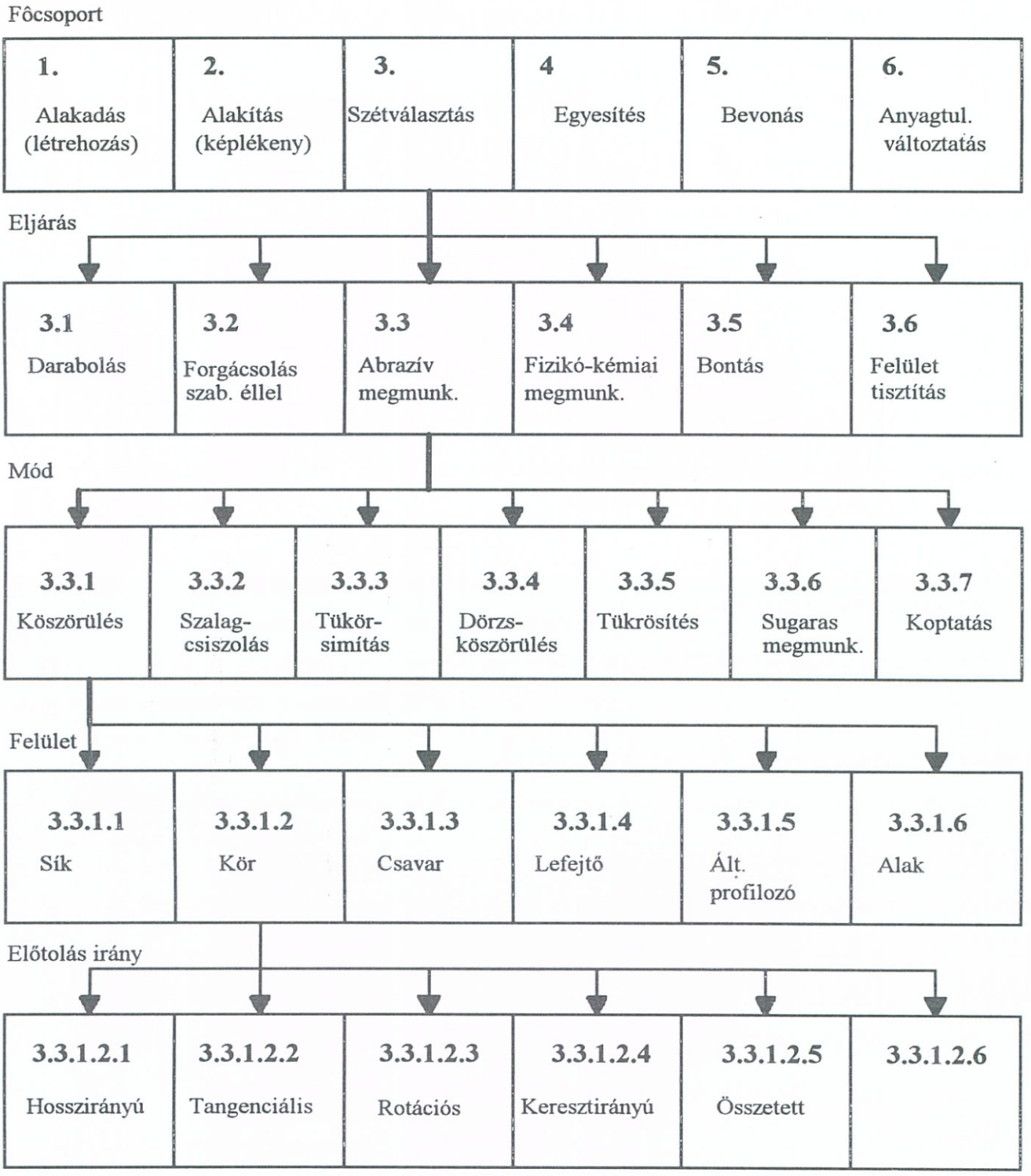
6.2.2 Abrazív szerszámok szerkezete

Az abrazív szerszám minőségét, alkalmazhatóságát, az alábbi tényezők befolyásolják leginkább:

- a megmunkáló szemcse anyaga és mérete,
- a kötőanyag minősége és mennyisége (kötéskeménység),
- az abrazív szemcsék és kötőanyag térbeli elhelyezkedése, a pórusok mennyisége (porozitás)

Szemcseméret

A szemcseméret meghatározására többféle módszer ismert. Általában az osztályozásra használt szita lyukméretével vagy az 1"-ra eső szitalyukszámmal, (Mesh, FEPA -skála) esetenként a szemcsét befoglaló téglatest méreteiből számított középátmérővel jellemzik.



6.30. ábra. Megmunkálási eljárások osztályozása DIN 8589 szerint

Gyémántszemcsék esetén mindig egy maximális és egy minimális szitalyukméret definiálja a szemcsenagyságot. A szemcse nagyságától jelentősen függ az időegység alatt eltávolított forgács mennyisége, valamint a felület minősége is. Azonos szerkezet esetén csökkenő szemcseméretheZ csökkenő forgácsvastagság, növekvő fajlagos erő tartozik. A köszörűszerszám keményebbnek mutatkozik.

Szemcseanyagok

Az abrazív szerszámként alkalmazott szemcseanyagok az alábbi csoportokba sorolhatók:

- elektrokorund,
- szilíciumkarbid,
- bórkarbid,
- köbös bórnitrid,
- gyémánt.

Elektrokorund

Kémiai képlete: Al_2O_3, a köszörűkorongok szabványos jelölésében azonosítója: "A". 1899-ben C. B. Jacobs állította elő először Franciaországban. Bauxitból, timföldből gyártják villamos ívkemencében tömbolvasztásos vagy csapolásos eljárással. Az energiaigényes fuzióhoz magas hőmérsékletre (2000 °C) és hosszú időre (15-30 óra) van szükség. A tiszta aluminiumoxid fehér színű, míg a legjáratosabb 95% tisztaságú barna.

Az egyes féleségek között jelentős keménységi, szívóssági különbségek vannak. A szemcsék keménysége és ridegsége (keménység) a tisztasággal növekszik. A szemcsék szilárdsági tulajdonságai Zr_2 adagolással, a szemcsében lévő egykristályok számának növelésével javíthatók. Hőállósága, kíváló kémiai tulajdonságai (ellenáll savaknak, lúgoknak, inert a vasalapú fémekkel), olcsósága következtében a legnagyobb mennyiségben (70%) alkalmazott szemcseanyag.

Szilíciumkarbid

Kémiai képlete: SiC, a köszörűkorongok szabványos jelölésében azonosítoja: "C". Kvarchomokból és szénből mesterségesen előállított szemcseanyag. 1891-ben E. G. Acheson fedezte fel gyémánt előállítási kísérletek közben, karborundumnak nevezte el, amely elnevezés ma is használatos. Mint ilyen az első abrazív anyag. Előállítása energiaigényes ezért a vizienergiában gazdag országok (Kína, Skandinávia) a fő sziliciumkarbid előállítók. A tiszta SiC kristályok átlátszók, az ipari terméket a vas, aluminium, kalcium szennyeződés színezi zöldre, a szénfelesleg feketére. Kemény, hőálló, kis hajlító és nyomószilárdsággal rendelkező szemcseanyag. Hőtágulása kicsi, jól bírja a hőmérséklet változást. Savaknak, lúgoknak kémiailag ellenáll, de a szabad széntartalom miatt erős affinitást mutat a vas-szén ötvözetekkel szemben. Elsősorban nagyon kemény anyagok keményfém, kerámia, öntöttvas valamint nem reaktiv lágy anyagok mint titán, réz, bronz megmunkálására használják.

Bórkarbid

Felfedezése arra az időre esik amikor először sikerült szilíciumkarbidot előállítani. Leggyakrabban bórsavból vagy bórdioxidból állítják elő ívkemencében. Előnyös keménységi és szilárdsági tulajdonságait, a vascsoporthoz tartozó fémek iránt mutatott erős kémiai affinitása miatt, kötött szemcsés köszörűanyagként nem lehet felhasználni. Elsősorban szabadszemcsés csiszolóanyagok, csiszolótestek formájában kerül felhasználásra.

Gyémánt

Kémiai képlete: C, a köszörűkorongok szabványos jelölésében azonosítója: "D". A legkeményebb természetes anyag. A mesterséges gyémánt előállításának megoldása óta felhasználása egyre bővül. A gyémánt szintézis felfedezése szinte egyidőben történt a svéd ASEA és az amerikai GE cégeknél-nél 1950-ben, azonban az iparszerű termelést a GE-nél (1955) oldották meg először. Jó hővezető, hőtágulási együtthatója kicsi, elektromosan szigetel, surlódási tényezője közel nulla. Keménységét 600-700 °C-on elveszíti, így alkalmazása hütést igényel. Vas alapú ötvözetekhez nem használható. Fontos felhasználási területe a keményfémek és a szinesfémek megmunkálása.

Köbös bórnitrid

Kémiai képlete: B_3N, a köszörűkorongok szabványos jelölésében jele: "B". Előállítása a nagynyomású technika alkalmazásának köszönhető, mivel a természetben ismeretlen anyag. A két legnagyobb szemcsegyártó ma is a GE Superabrasives és a DeBeers Dél-Afrikából. Az elöbbi Borazon, CBN az utóbbi Amborite, ABN néven hozza forgalomba termékeit. Hexagonális bór-nitridből 1200-2000 °C hőmérsékleten, 500000 (Mp/mm^2) nyomáson, ólom, ón, lítium katalizátor jelenlétében állítható elő. A tiszta bórnitrid szemcse átlátszatlan szürke vagy fekete esetleg a litium jelenlétében sárga. A gyémánthoz közeleső keménysége, jelentős hőállósága, kémiai ellenállóképessége (vasötvözetekkel szemben inert) folytán nehezen megmunkálható edzett acélok köszörülésére kiválóan alkalmas szemcseanyag.

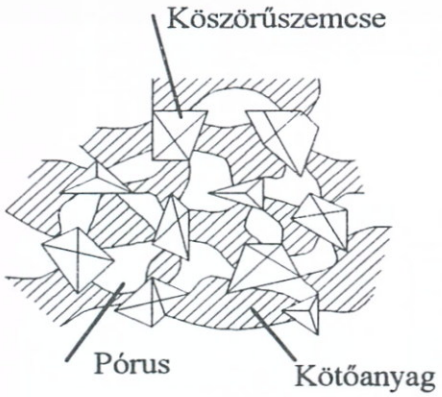
A köbös bórnitrid és a gyémánt: a szuperkemény szerszámanyagok. Az elnevezés az egymáshoz közeleső kiemelkedő keménység és egymást kiegészítő tulajdonságok eredménye.

Köszörűszerszámok kötőanyagai

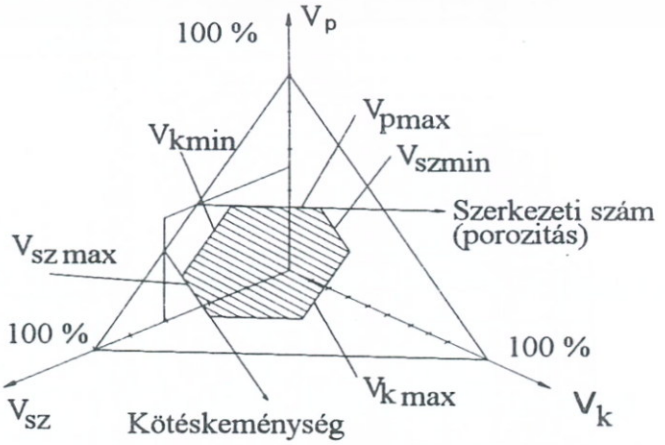
A kötőanyag feladata a köszörűszemcsék szilárd vázba foglalása. A köszörűszemcséknél alacsonyabb olvadáspontú kötő-ragasztóanyag a sajtolást követő égetésnél megolvad és a szemcsék között kötőhidak alakulnak ki. A kötőhíd szilárdságát gyakran töltőanyaggal növelik. A töltőanyag szemcsefinomsága 2-3-szor nagyobb kell legyen, mint a szemcseanyagé. Az alkalmazott kötőanyagok: kerámia, szerves, fémes, egyéb anyagok.

A legáltalánosabban használt **kerámia** kötőanyag, nagyfinomságú Al_2O_3 szemcsékhez adagolt földpát és agyag keveréke. Széles körben alkalmazott korund, szilíciumkarbid, gyémánt szemcseanyaghoz melyekkel kiváló hőszilárdságú, jó kémiai ellenállóképességű kötést eredményez. A kerámia kötésű szerszámok ridegek, ütésre érzékenyek.

Rendszerint nem az a legmegfelelőbb kötőanyag, amelynél a legkisebb a kopás, hanem az, amellyel a leköszörült anyagmennyiségnek és a kopásnak az aránya költség szempontjából a legkedvezőbb.



6.31/a. ábra. Köszörűkorongok szerkezete



6.32/b.ábra. Korong szerkezetének leírása

Köszörűszerszámok szerkezeti kialakítása

A köszörűkorongok, abrazív hasábok gyártásánál, felhasználásánál fontos tényező a szemcseanyag- kötőanyag- pórusok arányának ismerete (6.31. ábra). Pórus nélkül nincs megfelelő hely a leválasztott forgács elhelyezésére, a köszörűszerszám "nyom, éget", míg a megfelelő mennyiségű és minőségű kötőanyag határozza meg, hogy valamely korong rövid élettartamú éles szemcsével, kis nyomóerő mellett vagy hosszabb élettartamú tompább szemcsével, nagyobb nyomóerő mellett forgácsol.

A 6.31./b. ábrán látható *Vsz* szemcsetérfogat, a *Vk* kötőanyag térfogat és a *Vp* pórustérfogat megoszlását a

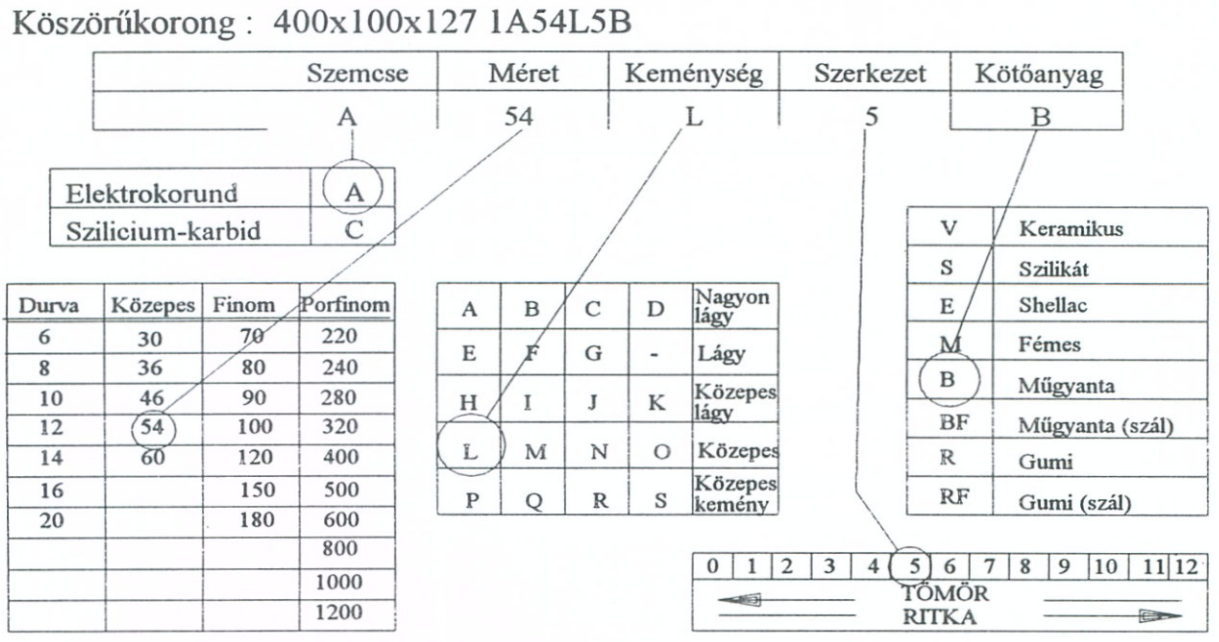
$$V_{sz} + V_k + V_p = 100\%$$

szerkezeti képlet írja le. Az ábrából látható, hogy a kötőanyag térfogatnak a pórus rovására történő növelése a kötéskeménységet, míg a kötőanyagnak a szemcsetérfogat ellenében megvalósított bővítése a korong porozitását (ritka - tömör) fokozza.

Köszörűkorongok minőségi jele

A kötött szemcsés abrazív szerszámok esetében egy betűkből és számokból álló szabványosított minőségi jel szolgál a köszörűkorongok azonosítására, kiválasztására. Az azonosító jel megadja a szemcse anyagát és méretét, az abrazív szerkezet keménységét és porozitását, valamint a kötőanyagot. A 6.32. ábra a normál keménységű alumínium-oxid és szilícium-karbid köszörűkorongok jelölésrendszerét mutatja be.

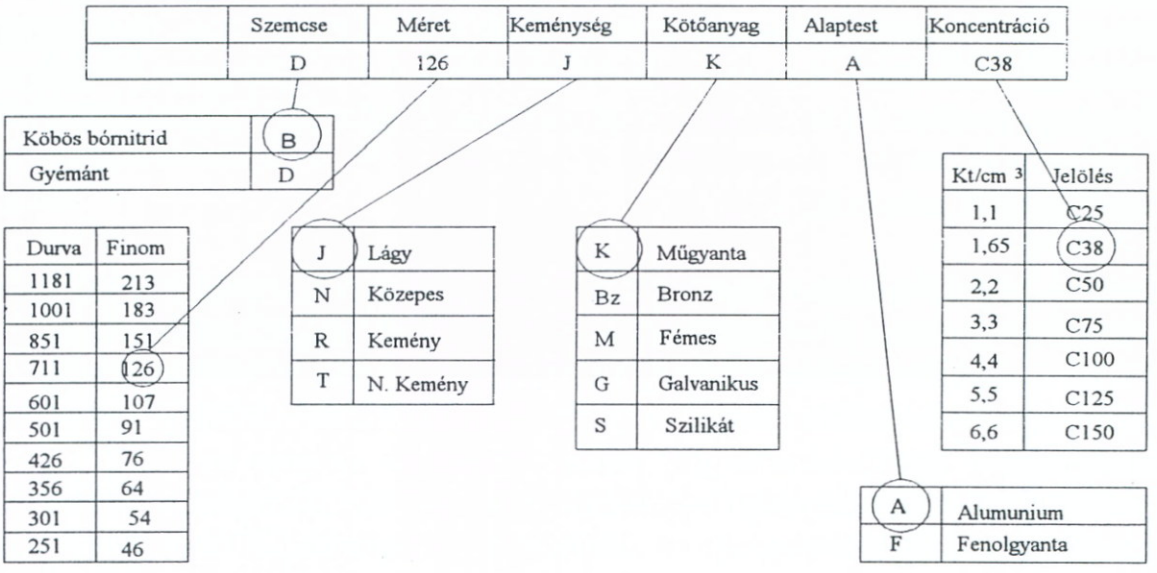
A köszörűkorong **keménység** valójában a kötés szilárdságaként (kötéskeménység) értelmezhető Így magába foglalja a kötőanyag milyenségét és relatív mennyiségét. Elmondható, hogy a keményebb korongokban erősebb és több kötőanyag van mint a lágyakban.



6.32. ábra. Normál keménységű köszörűkorongok jelölésrendszere

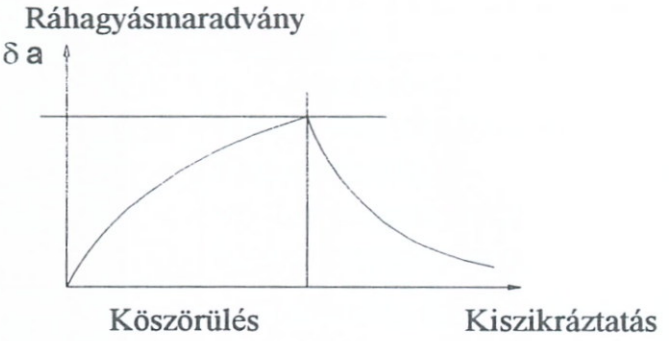
A **szerkezet** vagy **porozitás** azt fejezi ki, hogy mennyi hely van a szemcsék között az abrazív szerszámban. A porozitás nagyon fontos a forgácselhelyezés szempontjából.

Szuperkemény szemcseanyagú köszörűkorongok jelölésrendszere (6.33. ábra) részben eltér az előbb ismertetett normál keménységű korongok jelölésrendszerétől. A legjelentősebb eltérés a szemcseméret, illetve a szerkezet meghatározásában van. A szemcseméret mikronban adja a szemcsét befoglaló téglatest átlagos élvonal hosszát. A koncentráció egységnyi korongtérfogatra eső szuperkemény szemcsetartalmat határozza



6.33. ábra. Szuperkemény köszörűkorongok jelölésrendszere (König)

meg. Érdekessége a 100%-nál magasabb koncentráció, amely egy korábbi megállapodás szerinti 4.4 gr/cm^3-hez tartozik.



6.34. ábra. Ráhagyásmaradvány

6.2.3. A forgácsleválasztás alapelvei köszörülésnél

Az abrazív megmunkálás sok apró szemcsével (mint éllel) végzett anyageltávolításként fogható fel, azonban az így definiált folyamat több szempontból is különbözik egy szabályos éllel végzett forgácseltávolítástól.

- az egyedi szemcsék szabálytalan alakuak és a korong kerülete menti elhelyezkedésük véletlenszerű,
- a szemcsék radiális pozíciója változó,
- az átlagos homlokszög a szemcséken erősen negatív: -60° vagy még kisebb, aminek következtében a nyírási sík hajlásszöge nagyon kicsi,
- a forgácsleválasztási sebesség nagyon magas : tipikusan 25 m/sec (1500 m/min).

Köszörülésnél az elméleti rétegvastagság a ráhagyáshoz viszonyítva igen kicsi ezért a köszörülési ráhagyást több rétegben távolítják el. A réteg leválasztás történhet a_c állandó vagy fogásonként csökkenő a_v kapcsolási rétegmérettel. A tényleges kapcsolási méret a rendszer rugalmassági tulajdonságai következtében eltér a névlegestől és az eltérés a réteg leválasztás során fokoza-tosan növekszik (ráhagyás halmozódás). A rétegmaradvány (6.34. ábra) eltávolításához ujabb löketekre, fordulatokra van szükség, de már fogásvétel nékül. Ezt a megmunkálási fokozatot nevezzük "kiszikráztatásnak". A kiszikráztatást addig kell folytatni amig a réteg-maradvány a felületre előírt tűrés értéke alá csökken (4-5 löket).

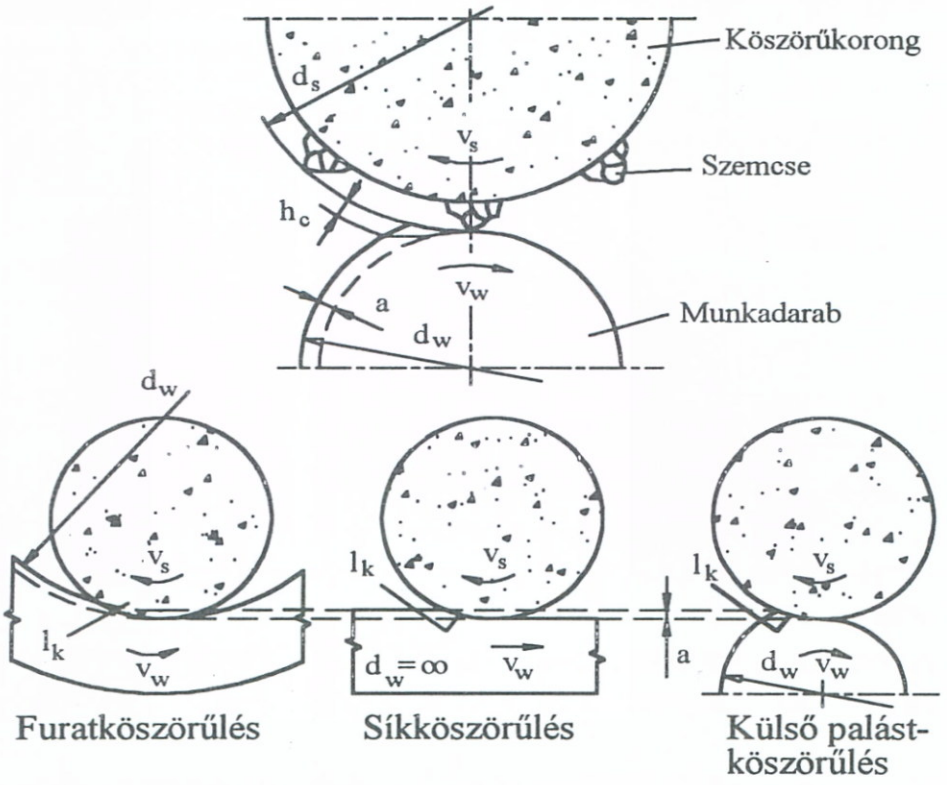
A köszörült felület érdessége döntően a kiszikráztatástól függ. Általános tapasztalat, hogy a nagyolási löketek nyomán alig változó érdesség a finomsimító fázisban rohamosan csökken. A kiszikráztatás ütemezhető az egyes forgácseltávolító löketek, illetve a megmunkálási fokozat befejezése utánra.

Kód	Alak
A	
B	
C	
D	
E	
F	

6.35. ábra. Korongalakok

Köszörülési folyamat modellezése, leírása

A köszörű szemcsét mint elemi forgácsoló élt vizsgálva, azt leginkább egy olyan marófognak lehet tekinteni, amely meghatározhatatlan élgeometriai viszonyok mellett hatol be az anyagba. A jellegzetes köszörűkorong alakok a 6.35. ábrán láthatók.



6.36. ábra. A kontaktvonal hossza köszörülésnél

Ezen megállapítást felhasználva, először a szemcse anyagleválasztását jellemző kontaktvonal hosszát kell definiálni. A palást furat és síkköszörülési viszonyok különbözőségét a 6.36. ábra szemlélteti. Az ábra alapján beláthatjuk, hogy az ívhossz az alábbi összefüggéssel számítható:

$$l_k = \sqrt{d_e \cdot a}$$

ahol.

d_e= egyenértékű szerszámátmérő

$$d_e = \frac{d_s \pm d_w}{d_w \cdot d_s}$$

Az összefüggés mindhárom esetben érvényben marad azzal, hogy síkköszörülésnél a $d_w = \infty$. A továbbiakban minden számításnál ahol az átmérőnek szerepe van az egyenértékü átmérőt helyettesítjük be.

Hőhatások

A köszörülési hömérséklet növekedése hátrányosan befolyásolja a megmunkált felület tulajdonságait és maradó feszültségeket okozhat a munkadarabon. A munkadarabba távozó hő deformációt okoz, melynek révén nehéz a megmunkált munkadarab méretpontosságát kézben tartani.

Jellemző	Leíró összefüggés	Tényezők
Forgácsoló erő	$F_c = k_c \cdot A \cdot \frac{v_w}{v_s}[N]$	a_e = köszörülési rétegvastagság (radiális fogásmélység)
Normál erő	$F_n = \lambda_n \cdot F_c[N]$	v_s = korongsebesség b_s=korongszélesség
Forgácsolási teljesítmény	$P_c = \frac{F_c \cdot v_s}{1000}[kW]$	a_p = előtolás (axiális fogás mélység)
Előtolási sebesség	$v_f = a_p \cdot n_w \left[\frac{mm}{\min}\right]$	v_w= tárgysebesség
Anyagleválasztási sebesség	$q_c = a_e \cdot a_p \cdot v_w [mm^3 / \min]$	t_c = alkatrész megmunkálási idő
Átlagos anyaglev. sebesség	$q_c' = \frac{V_w}{t_c}[mm^3 / \min]$	λ_n = erőviszony (köszörülésnél kb 5-10) N = köszörülési löketek száma
Fajlagos anyaglev. sebesség	$Q' = \frac{q_c}{b_s 60}\left[mm^3/mm \cdot s\right]$	k_c= fajlagos forgácsolási erő (energia)
Megmunkálási idő	$t_c = N \cdot \frac{l}{v_f}[\min]$	V_w = eltávolított anyagtérfogat
Köszörülési viszony	$G = \frac{V_w}{V_s}$	V_s = a korongról lekopott szemcsetérfogat

6.2. táblázat. Folyamat leíró összefüggések köszörülésnél

A köszörülésnél leválasztott forgács csúcshőmérséklete ~1600 °C, azonban a hőhatás ideje rendkívül rövid - mikromásodperc nagyságrendű - ezért a forgács megolvadása nem igazán jellemző.

A keletkezett hő nagyobbik része a forgácsba távozik ezért csak egy töredék megy a munkadarabba. Kísérletek bizonyítják, hogy mintegy fele hő távozik a munkadarabba, mint a szabályos éllel végzett anyagleválasztási folyamatoknál általában.

Beégés

Túlzott hőmérséklet esetén a felületi réteg beéghet. A beégés az acél alkatrészek felületi elszíneződését okozhatja, amely azt jelzi, hogy a magas hőmérsékleten oxidáció következett be.

Hősokk

A köszörülés magas hőmérséklete a munkadarab felületi rétegében hőrepedésekhez vezethet. A repedések általában merőlegesek a köszörülés irányára, esetenként párhuzamos repedések is keletkezhetnek.

Maradó feszültségek

Köszörülésnél a munkadarabon belüli hőmérsékletváltozás gradiense felelős elsősorban a maradó feszültségekért. A maradó feszültség csökkenthető a köszörülési sebesség csökkentésével és növelt előtolási sebességgel. A megfelelő hűtőfolyadék szintén csökkenti a maradó feszültségeket.

Köszörülési rezgések

A rezgések hátrányosan befolyásolják a megmunkált felület minőségét és a köszörűkorong teljesítőképességét. A rezgéseket okozhatják a csapágyak, az orsók, a kiegyensúlyozatlan korongok, ezen kívül olyan külső források mint a közeleső gépek, gépi berendezések. A köszörülési folyamat maga is öngerjesztő rezgések forrása lehet. A rezgéscsökkentés meghatározó paramétere a megmunkáló gép merevsége és csillapítása. A rezgéscsökkentésben jelentős szerepe lehet a korongszabályozás módszerének és a korongkopásnak.

Általános vezérelv lehet a rezgési tendencia csökkentésében a lágyabb köszörűkorong alkalmazása, gyakoribb korongszabályozás, a szabályozási eljárás megváltoztatása, a munkadarabbefogás merevségének növelése, az anyagleválasztási sebesség csökkentése.

6.2.4 Köszörűszerszámok elhasználódása és szabályozása

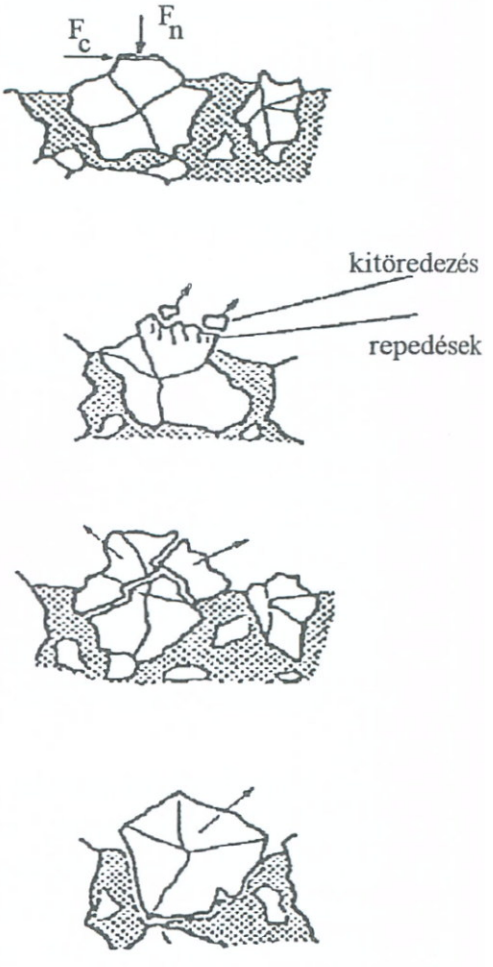
Szerszámelhasználódás

Az abrazív szerszámok elhasználódásánál, bár az adhéziós, diffúziós oxidációs folyamatok tekintetében azonos események játszódnak le, mint a szabályos élű szerszámoknál, egyedi sajátosságokat is megfigyelhetünk.

A köszörűkorongok munkafelületén a munkadarabbal való kölcsönhatás eredményeként egyes szemcsék legömbölyödnek, csúcssugaruk nő (6.37. ábra). Más szemcsék megrepedeznek, részek töredeznek, pattognak le róluk.

Normál szerszámkopás esetén a szemcse elkopása és a szemcse töredezés egyaránt végbemegy. Először a szemcse tompulása következik be, majd a megnövekedett erő hatására a szemcse kifordul a kötőanyagból (kipergés). Ha a tompulás, kipergés egyensúlyban van, akkor a korong sokáig megőrzi a forgácsoló képességét. Ezt a jelenséget nevezzük önélezésnek, ami kedvező jelenség, mivel a korongot külön műveletben nem kell szabályozni.

Morzsolódó szerszámkopás esetén a munkafelületen a kipergés van túlsúlyban és így a szemcsék csak rövid



6.37. ábra Köszörűkorongok kopása

ideig forgácsolnak, a korong teljesítőképessége csökken. E kopásforma a lágy korongok jellemzője.

Hegedéses kopás (eltömődés) esetén a forgács rátapad a szemcsére és eltömi a forgácsteret, majd a megnövekedett súrlódás hatására a szemcsék csoportosan szakadnak ki a felületből. A köszörűkorong nyom, éget. E kopásforma a kemény korongok jellemzője. Az eltömődés negatív jelensége a hűtő-kenő folyadék helyes megválasztásával csökkenthető

A méretes szerszámkopás mellett általánosan használt elhasználódási, forgácsolóképességi jellemző a G mutató, amely a munkadarabról leköszörült és a korongról lekopott térfogat arányát fejezi ki. (6.2. táblázat)

Köszörűszerszámok szabályozása, regenerálása

Bármely az előzőekben vázolt szerszámkopás esetén egy bizonyos idő után (szerszáméltartam) a korong elveszíti forgácsolóképességét, vagy más kritériumnak nem felel meg (felületminőség romlása, túlzott rezgés, alakhiba, beégés, stb.)

Köszörülésnél a kopott szerszámot általában nem cserélik le, hanem a megmunkálógépen felújítással, szabályozással állítják helye annak forgácsolóképességét. A szabályozás lényege, hogy a korong felületéről eltávolítják a megkopott réteget és új, ép szemcséket hoznak a felszínre.

Főbb szabályozási módszerek:

- Egykristályos gyémántszabályozás esetén a korong munkasebességhez közeli értékkel forog. Bonyolult profilok is szabályozhatók a módszerrel, viszonylag kicsi szabályozási veszteség mellett. Hátránya, hogy a szabályozott korong felületi érdessége nem lesz igazán jó, a szabályozó gyémánt drága.

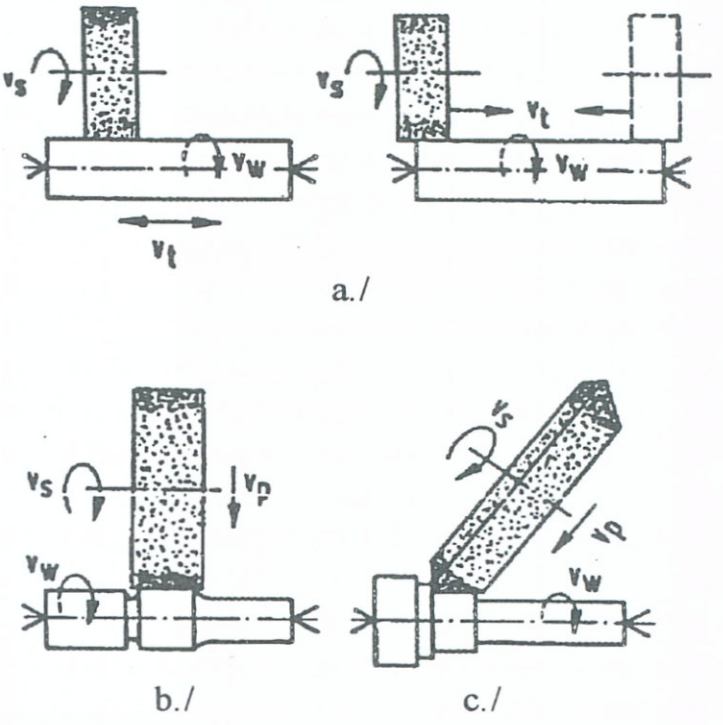
- Polikristályos szabályozóruddal végzett szabályozás esetén a regenerált felület alakhűsége, érdessége jobb, a szerszám olcsóbb mint az első esetben , viszont csak egyszerű munkafelület alakítható így ki.

- A profilozó korongok morzsolásának csak nagysorozat gyártás esetén gazdaságos az alkalmazása, mivel a profilos morzsoló előállítása plusz költséget jelent.

6.2.5. Abrazív megmunkálási eljárások

A köszörülési műveletek az összes megmunkálások kb. 20 %-át teszik ki. Egy adott alkatrészhez alkalmazandó művelet kiválasztása nagymértékben függ a munkadarab alakjától és méretétől, befoghatóságától és a gyártási sorozatnagyságtól. A kötött szemcsével végzet köszörülési eljárások: síkköszörülés, palástköszörülés és csúcsnélküli köszörülés. Csiszolótestekkel végzett megmunkálások a dörzsköszörülés és a tükörsimítás. A szabad szemcsével végzett abrazív megmunkálások közé soroljuk a

tükrösítést, a polírozást, az ultrahangos és mágneses megmun-kálásokat, valamint a szemcseszórást és a koptató csiszolást.



6.38. ábra. Palástköszörülés változatai

Síkköszörülés

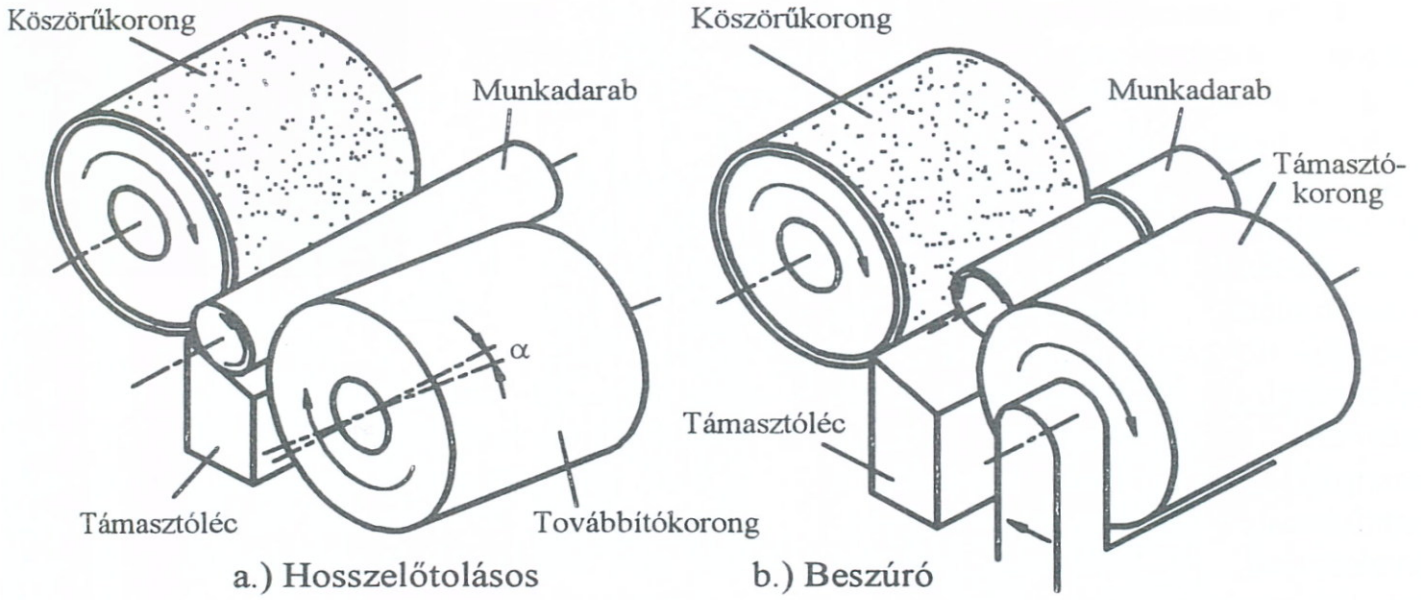
A korong palást vagy homlokfelületén lévő szemcsékkel távolítjuk el a megmunkálandó anyagot, a munka-darabok sík felületéről. A munkadarabok többnyire forgó vagy alternáló mozgást végző mágnes-asztalra vannak felfogva. A szerszám hoklokfelületével végzett köszörülésnél előálló megnövekedett kontaktfelület nagyságát a szerszámtengely döntésével lehet csökkenteni. Ha ezt nem tudjuk megtenni akkor előnyben kell részesíteni a korong palástfelülettel végvett anyageltávolítást.

Palástköszörülés

Az elnevezés síma hengeres palástfelületek megmunkálására utal, azaz síma valamint vállas tengelyek, külső hengerfelületek munkálhatók meg a művelet révén. A megnevezés arra is utal, hogy a megmunkált fe-lület párhuzamos a köszörűkorong palástfelületével, másszóval az anyageltávolítást végző szemcsék elsősorban a korong palástfelületén helyezkednek el. A 6.38. ábra a./ változata szerinti, általánosan hasz-nált hosszelőtolásos palást-köszö-rülés mellett estenként célszerű a beszúró, más esetben a c./ ábra szerinti ferde beszúró palást-köszö-rülés alkalmazása.

Csúcsnélküli köszörülés

A henger (kör) köszörülés olyan változata, amelynél központfurat (és többnyire váll) nélküli munkadarabokat munkálunk meg. A megmunkáláskor a 6.39. ára szerinti munkadarab a támasztólécen feltámaszkodva, a továbbítókorong és a köszörűkorong között helyezkedik el. Csúcsnélküli köszörülésnél mindig egyirányú köszörülés valósul meg (az érintkezési pontban a munkadarab és a köszörűkorong sebességvektorai azonos irányítottságuak) ellentétben a csúcsok között végzett ellenirányú köszörüléssel. Miután a továbbítókorong bakelit kötőanyaggal készül, így közte és a munkadarab közti súrlódási együttható nagyobb, mint a munkadarab és a köszörűkorong között. (Acél megmunkálásakor $\mu = 0.6 - 0.8$)



6.39. ábra. Csúcsnélküli köszörülés változatai

E viszonyok következtében a munkadarab nagyjából a továbbítókorong sebességével forog, melynek sebessége 1/20-a a köszörűkorong sebességének.

A hosszirányú előtolás vagy azáltal jön létre, hogy a továbbítókorongot egy meghatározott szöggel elfordítjuk vagy a támasztólécet állítjuk ferde helyzetbe. A továbbítókorong bedöntési szöge 4-6 °. Beszúró köszörülésnél a bedöntési szög természetesen 0°. Egy áteresztéssel eltávolítható rétegvastagság a megmunkálás jellegétől függően 0.1 - 0.5 mm lehet. Tipikusan csúcs nélkül megmunkálható alkatrészek: csapágygörgők, dugattyú csapszegek, tengelyek. A legkisebb megmunkálható átmérő kb. 0.1 mm.

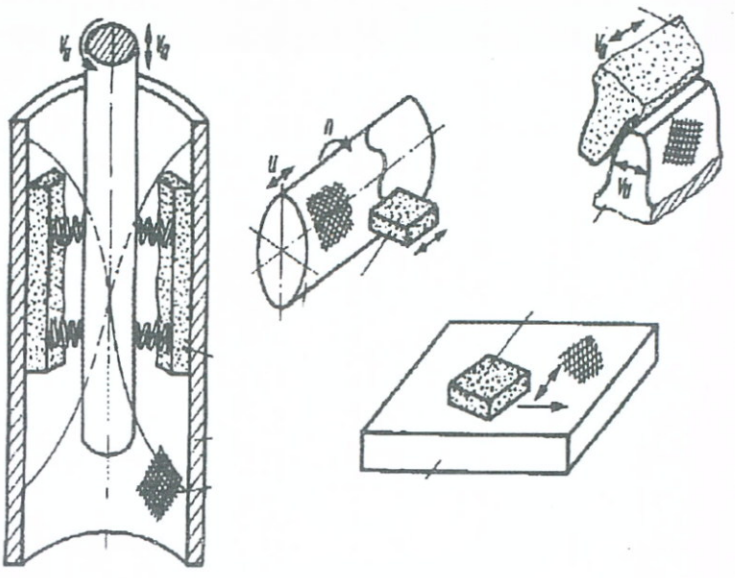
Dörzsköszörülés, hónolás,

Kötött szemcsés csiszolótestekkel végzett, a felület alak és méretpontosságának javítását célzó forgácsoló megmunkálás. A megmunkált felület és a szerszám folyamatosan (nyomás alatt) érintkezésben vannak. A 6.40. ábra szerinti eltérő mozgásviszonyokkal jellemezhető változatokat különböztethetünk meg:

- hosszú löketű dörzsköszörülés vagy honolás döntően belső felületek (hajtórúdfurat, hengerpersely fogaskerékfurat stb) alak és felületi minőség problémáinak javítására használatos.
- rövid löketű rezgőcsiszolás vagy tükörsimítás (szuperfiniselés) elsősorban külső felületek (forgattyús tengely, görgők, hosszútengelyek) megmunkálásához használatos. Nagy alkatrészek megmunkálása is lehetséges például esztergagépen.

Míg köszörüléskor a szerszám és munkadarab közötti nyomás, illetve erő a kapcsolódás beállítási jellemzőiből adódik, addig dörzsköszörülésnél éppen ezen nyomóerő hatásárajön létre az anyagleválasztás. A megmunkálás kinematikáját az axiális és a forgó mozgások szuperpozíciója eredményezi.

A dörzsköszörülési, hónolási művelet eredményessége nagyban függ az abrazív hasábok méretétől, a felületi nyomástól, a hasáb anyagának minőségi jellemzőitől és az alkalmazott kenőanyagtól. Nagyméretű hasábok kevésbé hajlamosak rezonanciára. Nagyobb felületi nyomás növekvő anyagleválasztási sebességet és szerszámkopást eredményez. Szuperkemény szemcseanyag alkalmazása kopásállóbb szerszámot, hatékonyabb anyagleválasztást és persze egyúttal drágább szerszámozást jelent



6.40.ábra. Dörzsköszörülés

Tükrösítés, leppelés

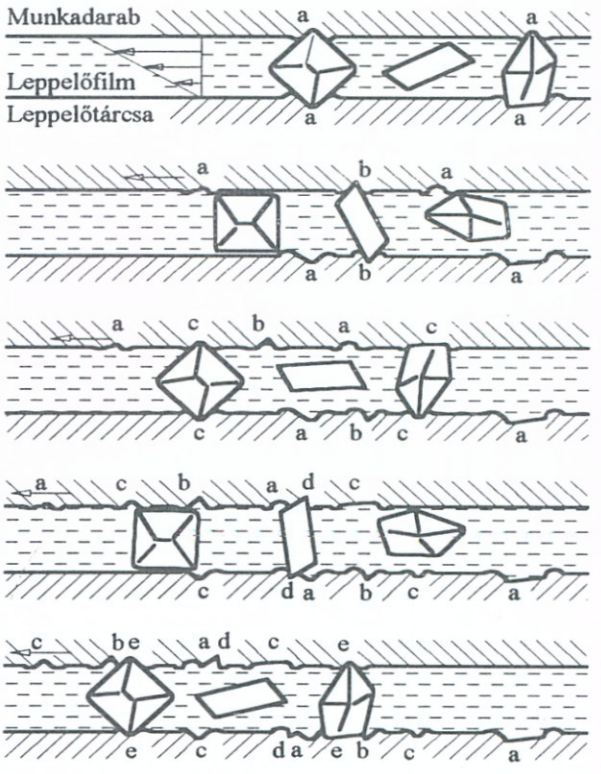
Olyan szabad (folyadékban vagy pasztában eloszlatott) szemcsével végzett forgácsolás, amelynél a szemcséket az alakátvivő szerszám és a munkadarab között irányítatlan mozgáspályán vezetik. A leppelést végző szemcse mozgását és az anyagleválasztás mikéntjét a 6.41. ábra mutatja. Rendkívüli alakpontosság és szűk mérettűrések érhetők el a megmunkált anyag keménységétől függetlenül egészen IT 1- ig. A leppelt felület érdessége 0.025-0.1 μm, matt-fényes, kopása kicsi.

A tükrösítésre leginkább az elektrokorund és a szilíciumkarbid igen finom szemcséit (900-as szemcse) használják. A szemcsevivő folyadék hígabb gépolaj, petróleum, néha alkohol vagy terpentin.

A tükrösítő szerszám leginkább öntöttvas.

Fényesítés, polírozás

Gyakori feladat, hogy igen fényes és síma felületet kell készíteni az alkatrész esztétikai kivitele vagy bevonatok felvitele céljából. Ezesetben sem alakhűségi, sem méretpontossági követelmények nincsenek, vagy alárendelt jelentőségűek. E célra az un rugalmas köszörülést használják, amikor a köszörűszemcséket (aluminium-oxid, gyémánt) valamely rugalmas alapanyagra viszik fel (nemez-, flanell-, textilkorong). Az igényelt fényes felület jelentős



6.41.ábra. A tükrösítés anyageltávolításának folyamata

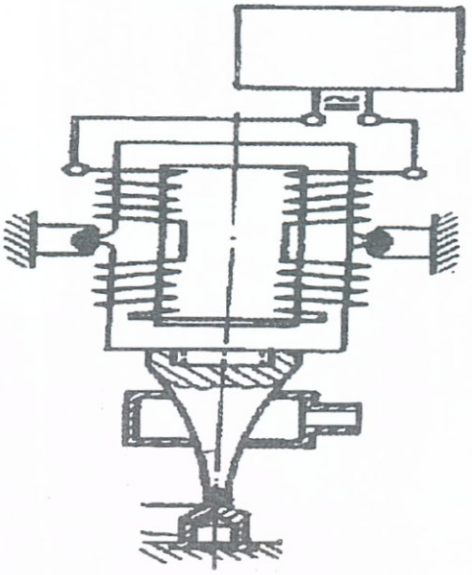
anyageltávolítás nélkül előállítható, mivel a rugalmas hordozóközeg behatol a résekbe. A polírozás több műveletből tevődik össze, kezdve a durvaszemcsés nemezkorongos csiszolással, folytatva a textilkorongos laza szemcsés csiszolással és bevégezve a kefés fényesítéssel.

A fényesítéshez használt eszközök (textilkorongok) felhasználhatók speciális bevonati rétegek előállítására is.

Ultrahangos megmunkálás

A hangok nyomáshullámok, amelyek az adott közegben továbbterjednek. A hallható hangok tartománya a 20 Hz-től 15 k Hz-ig terjed. 20 Hz-nél alacsonyabb frekvenciájú hangokat infrahangoknak nevezzük, míg 16 kHz felett ultrahangokról beszélünk. Ultrahangos megmunkáláskor tehát olyan gerjesztő hangforrást alkalmazunk, melynek rezgési frekvenciája 16 k Hz fölé esik. Ipari alkalmazásként általában két fajta akusztikus generátort alkalmazunk rezgéskeltésre:

- magnetosztrikciós generátor
- piezoelektromos generátor



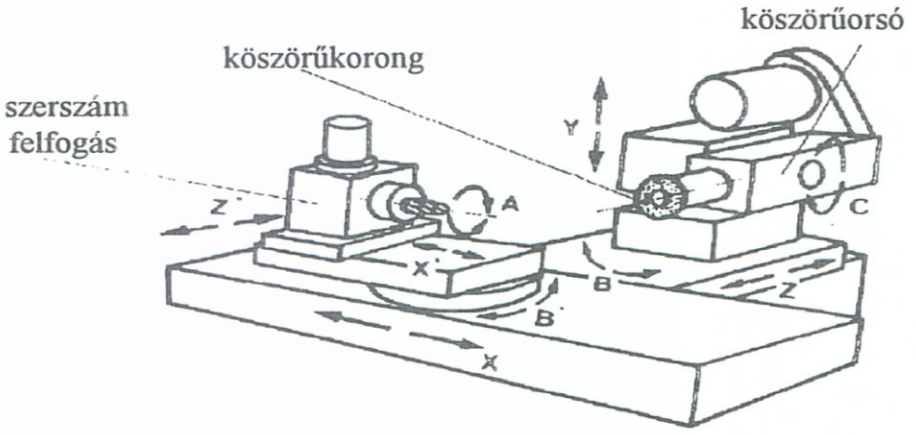
6.42. ábra. Ultrahangos megmunkálás

A megmunkálás során tehát az anyageltávolítás a folyadékba ágyazott abrazív szemcsék által eltávolított mikroforgácsok, lekoptatott részecskék formájában történik. A 6.42. ábrán látható berendezés rezonátornak nevezett szerszáma kis amplitúdójú (0.05 - 0.125 mm), de magas frekvenciájú (20 kHz) rezgő mozgást végez. Ezen rezgés nagy sebességü mozgást közvetít a szerszám és a munkadarab közötti résben lévő abrazív részecskékhez. Az abrazív szemcse leginkább bórkarbid, de lehet aluminium-oxidot és szilícium-karbidot is használni. A szemcsék mérete a nagyoláshoz használt 100-tól 1000-ig terjedhet (simítás). A szemcsék hordozóközege és egyben a leválasztott forgács eltávolítását végző anyag a víz.

Az ultrahangos anyagle-választás leginkább olyan rideg és kemény anyagok megmunkálásához mint a kerámiák, karbidok, üveg, kő edzett acélok, valamint felülettisztításhoz használatos.

6.2.6 Szerszámélezés

A szabályos élgeometriájú, megkopott forgácsoló szerszámok felújítása szerszámélező gépen többnyire köszörülési technológiával történik. Univerzális - legújabban többtengelyes - CNC vezérlésű (6.43. ábra) vagy speciális élezőgépen szerszámtípusokra



6.43. ábra. NC szerszámélezőgép tengelyelrendezése

jellemző un. típustechnológiák szerint valósul meg a szerszámél felújítása. Az alábbiakban a legfontosabb alapelveket foglaljuk össze:

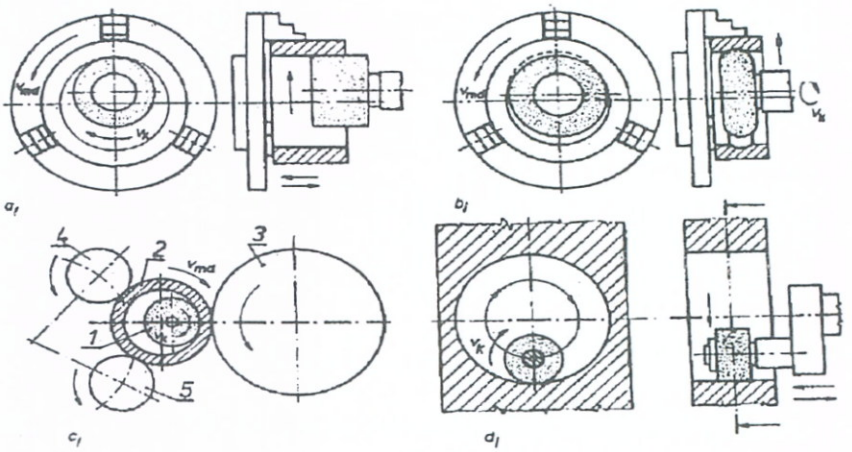
- Amennyiben szerszámgeometriai akadálya nincs, a kopás jellegéhez igazodva elsődlegesen a hátfelületen élezünk.
- Az élezésnél messzemenően törekedni kell a sorjaképződés megakadályozására, ezért, ha lehetséges az élreköszörülést kell megvalósítani.
- A beégések elkerülése miatt törekedni kell a kontaktfelület minimalizálására. Különösen azért, mivel a bonyolult és kényes műveleteknél gyakran nem tudunk hütőfolyadékot alkalmazni.
- A szerszámél érdességének minimalizálása megköveteli a nagyolás, simítás, kiszikráztatás megmunkálási ciklus szigorú betartását.

6.2.7 Jellegzetes felületek köszörülése

Furatköszörülés

A furatköszörülés abban tér el a külső hengeres felületek köszörülésétől, hogy az alkalmazható köszörűkorong átmérőjét a furatátmérőtől, szélességét pedig a köszörűorsó kereszt-metszetétől függően kell megválasztani. A furatköszörülés főbb módozatait a 6.44. ábra szemlélteti.

A hosszelőtolásos furatköszörülés igen elterjedt, elsősorban tárcsaszerű forgástestek



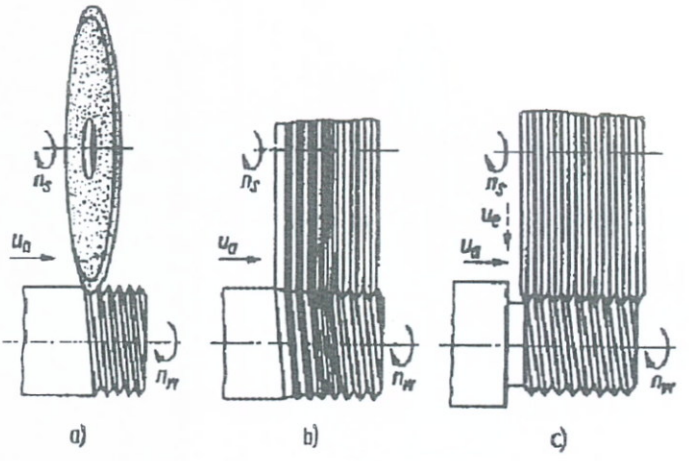
6.44.ábra. Furatköszörülés változatai

furatainak megmunkálásához alkalmazzák.

A beszúró furatköszörülés csak alakos profilok megmunkálásához használatos. Az orsó keresztirányú merevsége kicsi.

Csúcsnélküli furatköszörülés perselyek nagysorozat- és tömeggyártása esetén gazdaságos. A bázisnak használt külső felület egyenetlenségei a megmunkált felületre átmásolódnak.

A bolygórendszerű furatköszörülést nagyméretű gépalkatrészek, nagy átmérőjü furatainak köszörüléséhez használják.



6.45. ábra. Menetköszörülési eljárások

Menetköszörülés

Leginkább csak a mechanizmusokban mozgásátvitelre szolgáló, gyakran hőkezelt meneteket köszörülik. A köszörüléssel ki lehet elégíteni a menettel szemben támasztott fokozott pontossági és felületminőségi elvárásokat.

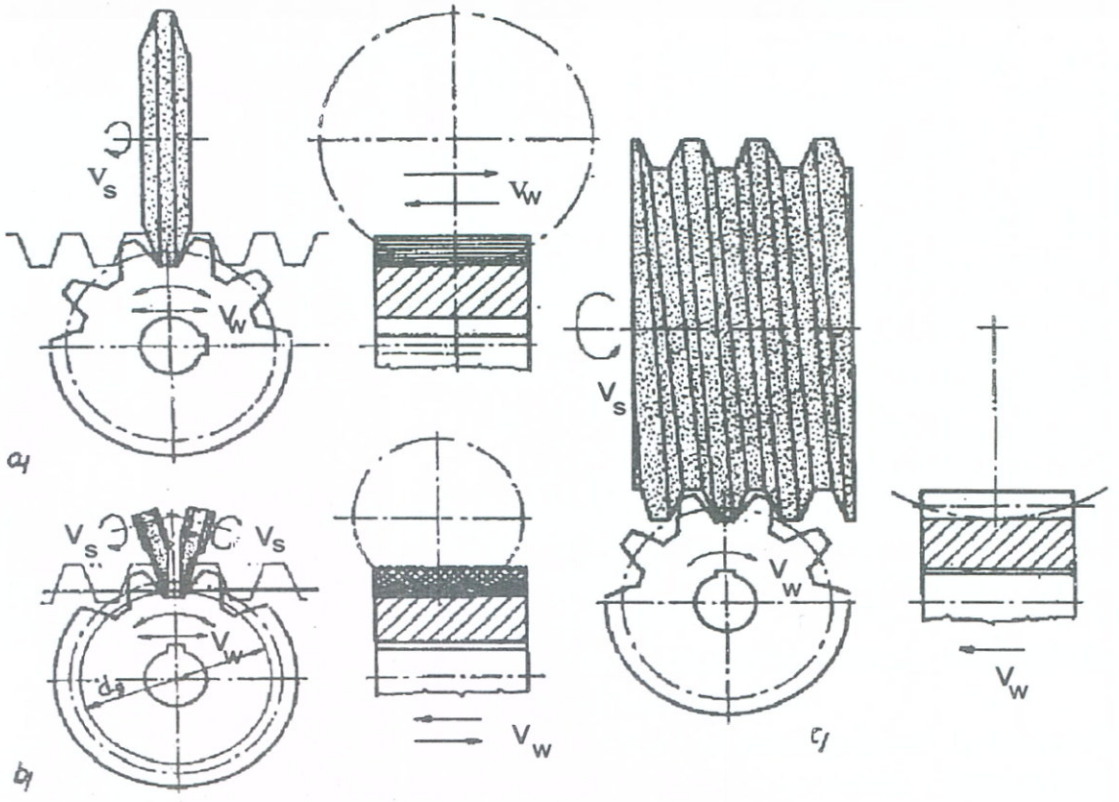
A 6.45. ábra szerinti háromfajta köszörűkorong használható menetköszörüléseknél. Az a./ ábrarészlet szerinti profilozott tárcsás korongot hosszú menetes orsók megmunkálásához használjuk. A c./ ábrarész a rövid menetek beszúró köszörülését, míg a b./ részlet hosszú menetek fésüs koronggal végzett megmunkálását szemlélteti. A forgácsolási sebesség 5-20 m/sec és a korong a menetemelkedés hajlásszögének megfelelően be van döntve. Nagy szelvény-keresztmetszetű menetek köszörülésénél pontos megmunkáláshoz a korong szelvényét korrigálni kell.

Fogköszörülés

A köszörülés egy markáns felhasználási területe a fogaskerék fogprofilok finommegmunkálása. Ehhez az evolvens fogalakot kell előállítani pontosan profilozott köszörűkoronggal és/vagy a munkadarab és a szerszám közötti relatív elmozdulással. A fogköszörülés költséges eljárás, ennek ellenére alkalmazását az indokolja, hogy jó minőségű fogaskerékgyártás csak a betétedzést követő keménymegmunkálással érhető el, kiküszöbölve az edzési vetemedéseket, biztosítva a szükséges felületi minőséget. A lefejtő fogköszörülési eljárások csoportosítását a 6.46. ábra mutatja.

Profilozó fogköszörülés

A korong egyenlőtlen kopása miatt kevésbé pontos fogprofil munkálható meg mint a lefejtő köszörülési eljárásokkal.



6.46. ábra. Fogaskerék köszörülés változatai

Szakaszos lefejtő köszörülés két tányérkoronggal (MAAG)

Két tányér alakú köszörűkorong (6.46./b ábra) két fogoldalt munkál meg, miközben a fogaskerék a köszörűkorongokon legördül. A gép felépítése miatt többnyire szárazon kell végezni a műveletet, így a forgácsleválasztási teljesítmény nagyon kicsi. A legördítés elve pontos megmunkálást tesz lehetővé.

Szakaszos lefejtő köszörülés kétoldalt kúpos köszörűkoronggal (NILES)

A fogalak előállítása a fogaskerék és a fogasléc közötti legördülés elvén alapszik ezért a korongnak trapéz alakú keresztmetszete van. (6.46.a./ ábra)

Folyamatos lefejtő eljárás (REISHAUER)

A szerszám pontos fogaslécprofillal elkészített köszörűcsiga. (6.46.c/ ábra) Termelékeny eljárás. Mivel osztási műveletek nincsenek, az osztásból adódó hiba igen kicsi. Ennél az eljárásnál főleg a profilhiba határozza meg a fogazás minőségét.

6.3. Különleges megmunkálások

Különleges megmunkálások közé azokat az anyagleválasztási eljárásokat soroljuk, amelyek a hagyományos (mechanikus) anyagleválasztási eljárásoktól (forgácsolás szabályos- és szabálytalan élű szerszámmal) fizikai elvükben vagy lényeges folyamatjellemzőkben eltérnek.

A különleges anyagleválasztási eljárások egy nagy csoportját képezik azok az eljárások, amelyek nem mechanikus úton anyagrészecskéket választanak le. Az anyagleválasztási elv szerint megkülönböztetünk:

- termikus
- kémiai
- elektrokémiai

megmunkálási eljárásokat.

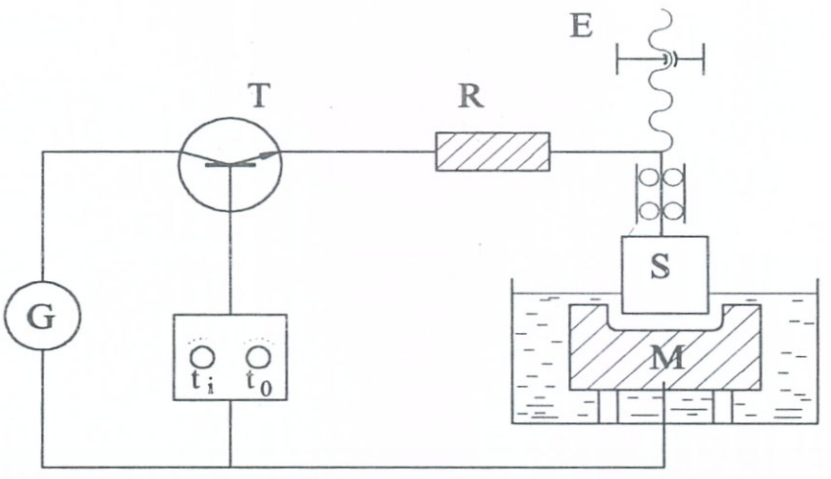
6.3.1. Termikus anyagleválasztási eljárások.

A termikus anyagleválasztási eljárásokat alapvetően két nagy csoportba oszthatjuk:

a. Az elektromos áram termikus hatását kihasználó eljárások. Ezek közül legelterjedtebb a szikraforgácsolás.
b. Sugaras megmunkálások, ahol a megmunkálást egy jól koncentrálható nagy energiasűrűségű sugár végzi. Ezek közül legelterjedtebb a lézersugaras megmunkálás, de nagy jelentősége van az elektronsugaras és az ionsugaras megmunkálásnak is.

Szikraforgácsolás

A szikraforgácsolás, röviden EDM (Electro-Discharge Machining), az elektromos szikrakisülés roncsoló hatásán alapszik. Egyenfeszültségre kapcsolt villamos vezető elektródokat (szerszám és munkadarab) dielektrikumba (szigetelő folyadék, munkafolyadék) merítünk és az elektródok között kisülés-sorozatokat hozunk létre. Ennek eredményeként az egyik elektródon (munkadarab) kialakul a másik elektród (szerszám) másolata. Az elrendezés vázlatát a 6.47. ábra mutatja.

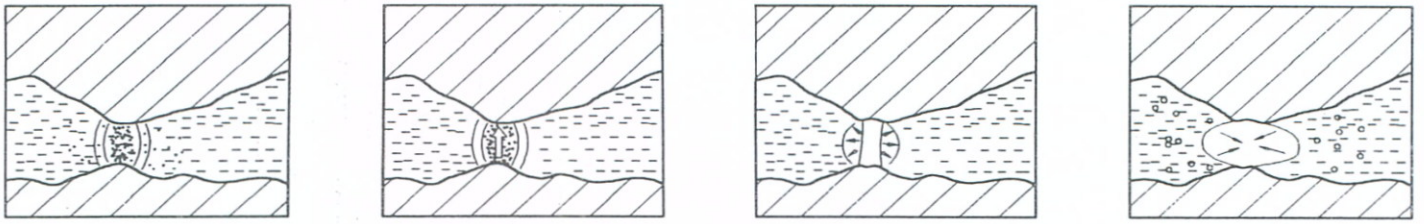


6.47. ábra. Szikraforgácsoló berendezés elvi vázlata

G generátor; T tranzisztor; R ellenállás; S szerszámelektród; M munkadarab elektród; E előtolómű

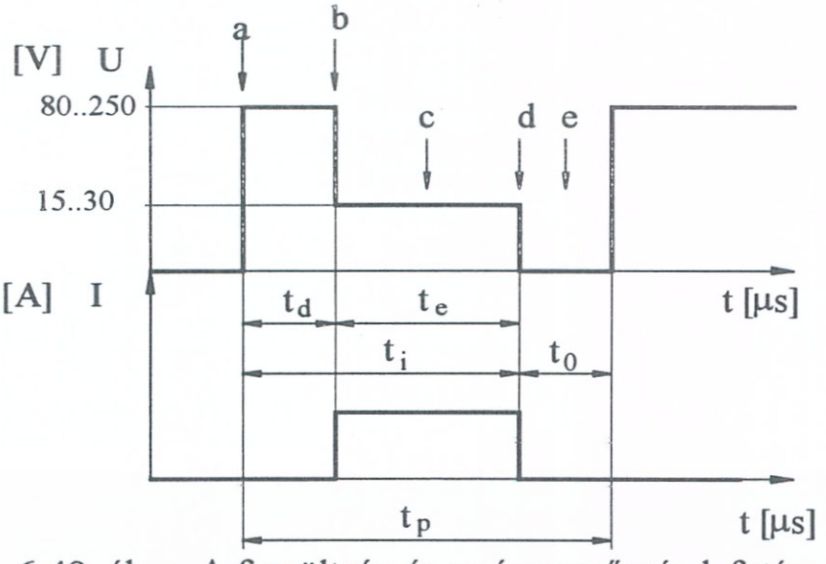
Szikraforgácsolás fizikai alapjai

Az elektródok (szerszám és munkadarab) sarkaira villamos egyenfeszültséget csatolunk (80....250V), amelynek hatására az elektródok között a dielektrikumban villamos tér alakul ki. A térerősség az elektródok legközelebbi pontjai között a legnagyobb, ezért a munkafolyadékban kisszámban található elektromos töltésű részecskék (pozitív töltésű ionok és negatív töltésű elektronok) ebben az övezetben tömörülnek és egyre gyorsulva az ellentétes polaritású elektród felé mozognak (lásd 6.48/a.ábra). A felgyorsult elektromos töltésű részecskék a folyadék molekuláival ütközve azokat villamos töltésű részekre szakítják szét (anionok és kationok). Ezt a jelenséget lökésionizálásnak nevezzük. A két elektródot egymástól elválasztó folyadék szigetelőképessége letörik, az elektródok között vezető csatorna jön létre. (lásd 6.48/.b. ábra) A vezető csatornában áram folyik, miközben a csatorna hőmérséklete egyre nő a benne mozgó részecskék ütközése folytán. A csatorna keresztmetszete gyorsan növekszik. A csatornában a hőmérséklet eléri a 10 000 K fokot, aminek következtében az elektródok talppontjaiban az anyag részben megolvad, részben gőzzé válik. Az ionizált kisülési csatorna (plazma) kialakulásával egyidejűleg az ívfeszültség gyorsan esik. 15-25 V megközelítésekor a



a, b, c, d,

6.48. ábra. A szikrakisülés folyamata



6.49. ábra. A feszültség és az áramerősség lefutása szikrakisüléskor

t_d kisülési késedelem; t_e kisülési idő; t_i impulzusidő; t_0 szünetidő; t_p periódusidő; $f_p=t_p^{-1}$ követési frekvencia

szikrakisülés instabil ívkisüléssé alakul át. (lásd 6.48/c. ábrák)

Az energia utánpótlásának megszakításakor a kisülési csatorna összeomlik, a gázbuborék szétpukkad. A lokálisan nagy dinamikus erő hatására a megolvadt fém apró golyócskák formájában kivetődik az elektródok megolvadt talppontjaiból. (lásd 6.48.d ábra)

A szikrakisülés helyén a gázok gyorsan elnyelődnek, a fémrészecskék lehűlnek és szétoszlanak a folyadékban. A dielektrikum gyorsan deionizálódik. Az egész kisülési folyamat 10-50 µs ideig tart.

Az elektródokról leváló fémrészecskéket és a munkafolyadékból keletkező pirolízis termékeket az

elektródok közül el kell távolítani. A megmunkálás stabilitásának feltétele, hogy az újonnan képződő termékek mennyisége ne haladja meg az eltávolítottakét. A már kivetődött részecskék továbbmozgatását elősegíti a kisüléskor kialakuló lökéshullám, de ennek hatása is korlátos, a fémrészecskék összetorlódnak. Az elektródokhoz tapadó és a dielektrikumban úszó fémrészecskék úgy hatnak, mintha az elektródok távolsága csökkenne, ezért a következő kisülések itt jönnek létre.

Ezek az un. kiürítési kisülések tovább mozgatják a részecskéket. Ha a fémrészecskék az elektródok között egy helyen összetorlódnak, hidat képeznek, rövidre zárják az elektródokat, a kisülési folyamat megszakad. A kisülési folyamat fenntartását nem csak a szilárd eróziós termékek nehezítik, hanem a pirolízis gázok is. Az elektródok közötti térben összegyülemlő gázbuborékok lefékezik a lökéshullámokat, ezáltal az eltávolítási folyamat lelassul. A szilárd és gáznemű részecskék felhalmozódását ezért meg kell akadályozni. Ennek egyik módja az elektródok közötti tér kényszeröblítése.

Dielektrikum

A dielektrikum vezetőképességének lehetőség szerint alacsonynak kell lennie. Ezáltal csökken az elektródok közötti távolság, javul a leképzés, a kisülési csatornában nagyobb energiasűrűség érhető el. Simító megmunkáláshoz alacsonyabb, nagyoláshoz magasabb viszkozitású dielektrikumot használunk. A forráspontnak nem szabad túl alacsonynak lennie (gőzképződés). Nem szabad gyúlékonynak lennie. Sem folyadék, sem gőz állapotban nem lehet egészségre ártalmas.

Mivel a dielektrikumot nem lehet minden egyes munkadarabnál kicserélni, ezért lehetőség szerint univerzális anyagot fejlesztettek ki.

A gyártók többsége különböző adalékokat tartalmazó petróleum bázisú dielektrikumot kínál.

A szikraforgácsoló készülékek gerjesztése

A szikraforgácsolásra alkalmas kisülések gerjesztésére alapvetően két generátorfajta használatos

- vezérelt impulzusgenerátor
- relaxációs generátor

Vezérelt impulzusgenerátor

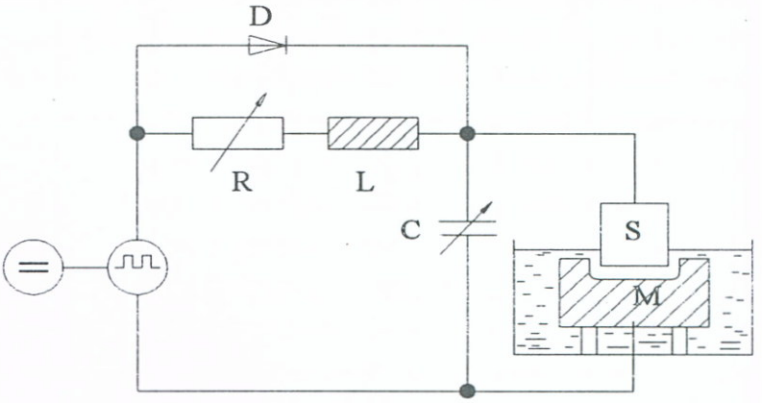
A vezérelt impulzusgenerátor általános kapcsolási vázlatát, továbbá a feszültség és áram jelleggörbéit a 6.49. és 6.47. ábrán mutatjuk be.

Működésének alapja az, hogy a generátor által előállított egyenfeszültséget kapcsoló és tranzisztor segítségével ütemesen rákapcsoljuk a S és M elektródpárra ill. lekapcsoljuk róla. A t_i impulzusidő alatt a feszültség és az áramerősség lefutását a 6.49. ábrán láthatjuk. A körbe kapcsolt ellenállás szerepe az, hogy a kisülés áramerősségét korlátozza. Az impulzusidő és a szünetidő a kezelő által beállítható.

Relaxációs generátor

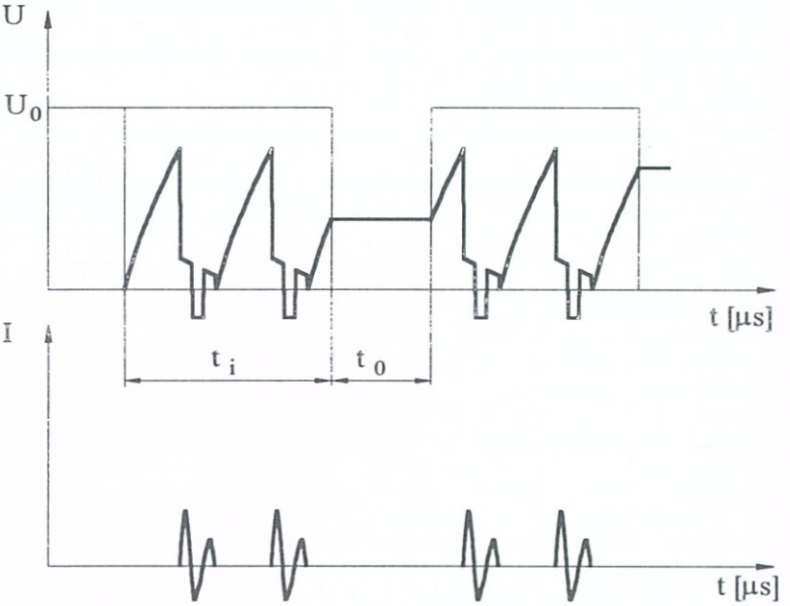
A relaxációs generátor elvi kapcsolási vázlatát a 6.50. ábrán láthatjuk. A tiszta relaxációs generátorokban kapcsoló és tároló elemként kapacitást és induktivitást építenek be.

A feszültség és az áramerősség lefutását az R, C, L elemek valamint a munkafolyadék állapota, az elektródköz távolsága határozzák meg. (lásd 6.50. ábra)



6.50. ábra. A relaxációs generátor egyszerűsített kapcsolási vázlata
D dióda; R változtatható ellenállás; L tekercs; C változtatható kondenzátor

A relaxációs generátorokat általában kis terjedelmű, vagy különlegesen finom felületek megmunkálásakor alkalmazzuk. Az U_0 feszültség rákapcsolásakor az egyenáramú áramforrás az elektródokkal pár-huzamosan kapcsolt C kondenzátort az R és L korlátozó impedancián keresztül tölti. A kondenzátor fegyverzetei, illetve az elektródok között mérhető feszültség a 6.51. ábra felső részén látható módon változik. A töltés alatt az elektródok között nem folyik áram. Amikor a feszültség eléri a munkafolyadék átütési szilárdságától és az elektródok távolságától függő átütési feszültség értékét, bekövetkezik az átütés és a kondenzátorban felhalmozódott energia kisülés formájában felszabadul. Eközben az elektródok közötti áram a 6.51. ábra alsó részén látható módon változik. A kondenzátor kisülése után ismét töltődésre kész. Ha a kapacitása elég nagy, akkor megszakítja az áramforrásból folyó áramot, ezáltal a kisülés is megszakad. Mindez addig ismétlődik, amíg az impulzusidő tart. Az ütemadó által meghatározott szünet elteltével a kondenzátor ismét feszültséget kap, a folyamat megis-métlődik.



6.51. ábra. A feszültség és az áramerősség lefutása relaxációs generátor alkalmazásakor

A szerszámelektród anyaga

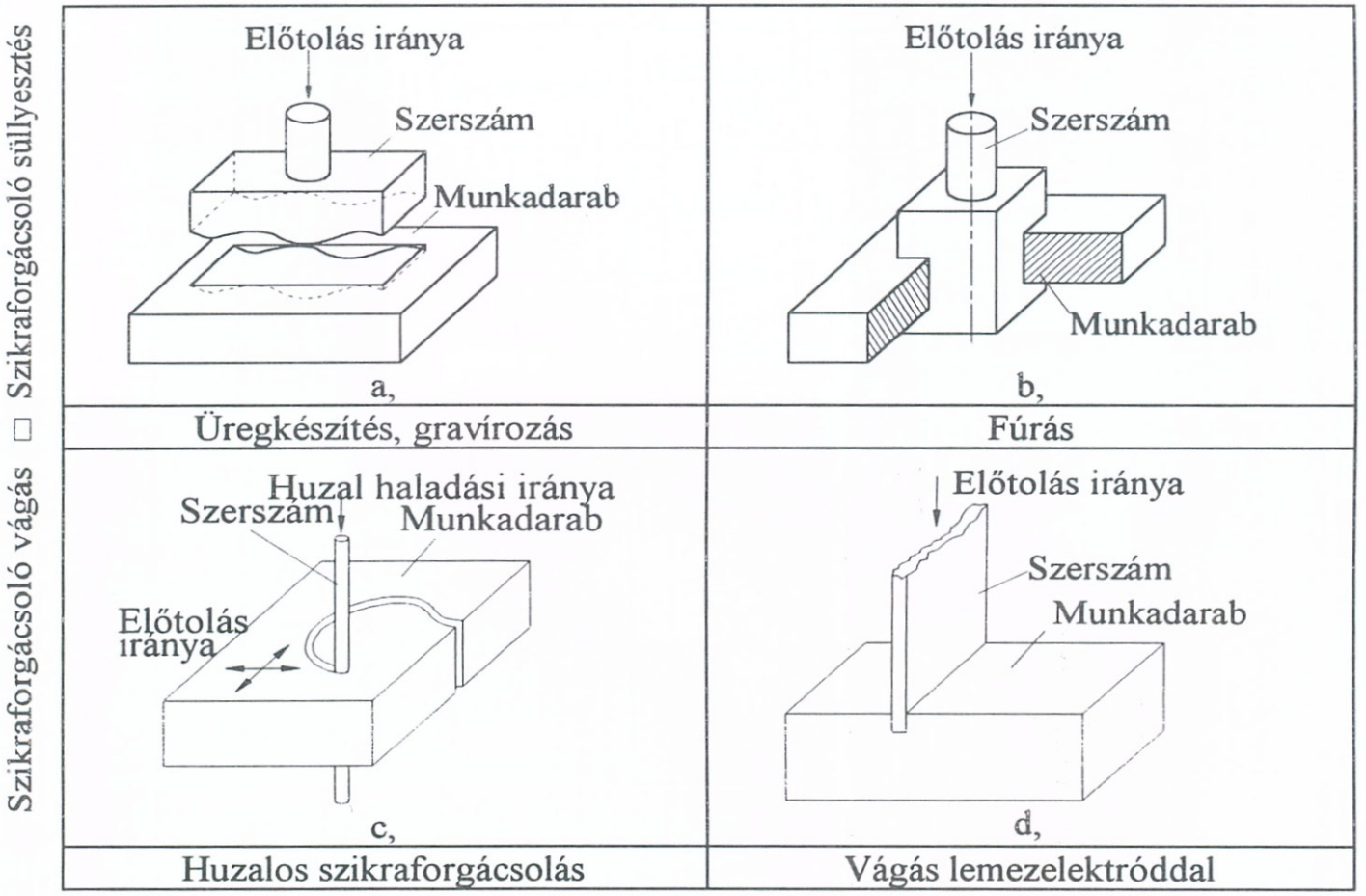
A szerszámelektród anyagának legjobban olyan anyagok felelnek meg, amelyeknek magas az olvadáspontja és jó az elektromos vezetőképessége, ugyanakkor a kívánt alakra könnyen megmunkálhatóak.

Leggyakrabban alkalmazott anyagok: vörösréz (elektrolit réz), króm-réz, wolfram-réz, wolfram-ezüst ötvözetek, szilumin, sárgaréz, wolfram, acél, grafit.

Az impulzusgenerátorok elterjedésével számos előnye miatt a grafit egyre jobban kiszorítja a rezet, főleg acélok szikraforgácsolásakor.

Szikraforgácsolás változatai

Szikraforgácsoláskor az elektród- és munkadarabon létrejött alak, valamint az elektród és a munkadarab relatív mozgása szerint különböző változatokról beszélünk.



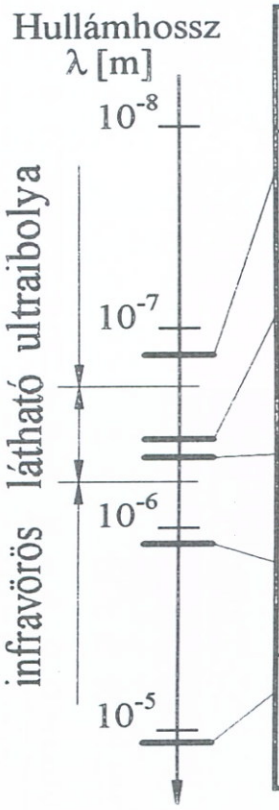
6.52. ábra. A szikraforgácsolás változatai

A 6.52/a. ábrán a szerszámelektród előtoló mozgásával, a szikrakisülések sorozatával a szerszám alakja belegravírozódik a munkadarab felületébe. Az eljárást süllyesztéses szikraforgácsolásnak nevezzük. A 6.52/b. ábrán a szerszám "áthatol" a munkadarabon, lyuk keletkezik. Ilyenkor szikraforgácsoló fúrásról beszélünk. Ha a 6.52/b. ábrán a szerszámelektródot vagy a munkadarabot az előtolási irányra merőleges x-y síkban mozgatjuk, miközben az előtolást szakaszosan ki- vagy bekapcsoljuk, bolygóelektródos szikraforgácsolásról beszélünk. A 6.352/c. ábrán huzalelektródot használunk. A huzalt folyamatosan csévéljük át egyik dobról a másikra, miközben a munkadarabot az x-y síkban mozgatjuk. Gyakran a huzal iránya is változtatható. A lehetséges szimultán mozgások száma szerint ilyenkor 3,4,5,6 tengelyes huzalos szikraforgácsolásról beszélünk. Többnyire kemény-fémek darabolására használjuk a 6.52/d. ábrán látható szikraforgácsoló vágást.

Sugaras megmunkálások

A termikus anyagleválasztások másik nagy csoportját a sugaras megmunkálások képezik. Jelentőségük és ipari alkalmazásuk egyre nő. Különös jelentősége van a sokoldalúan felhasználható lézersugárnak.

Lézersugaras megmunkálás



Lézer típusok	Teljesítmény [W]	Üzemmód	Alkalmazási terület
Excimer lézer 193 nm/248 nm	$5 \cdot 10^6$-$3 \cdot 10^7$	impulzus 15-30 ns	Anyagleválasztás, karcolás, fotokémiai megm., spektroszkópia
He-Ne lézer 632.8 nm	<1	folyamatos	Méréstechnika
Rubin lézer 693 nm	$1 \cdot 10^4$-$4 \cdot 10^4$ 100-200	impulzus 1-10 ms, folyamatos	Fúrás
Nd-YAG 1060 nm	10^6 500	impulzus 10 ns folyamatos	Fúrás, finomhegesztés
CO_2 lézer 10.6 μm	$5 \cdot 10^3$. 0.5-2.2·10^4	impulzus 1-10^5 μs folyamatos	Vágás, hegesztés, fúrás, felületi kezelés, stb.

6.53. ábra. Leggyakrabban alkalmazott ipari lézerek

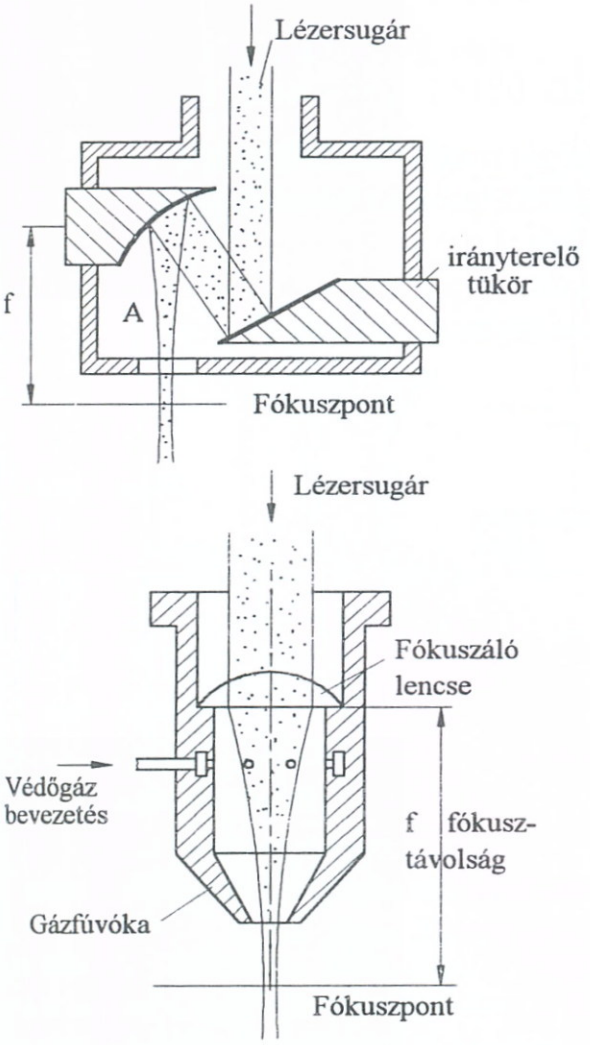
A lézersugárzás elméletét 1917-ben Einstein dolgozta ki. Az első lézereket 1960-ban készítették (Rubin és He-Ne lézerek). A 60-as évek eleje óta a lézer mint szerszám rendkívül sokoldalú alkalmazást nyert. A haditechnikai, orvostechnikai, hírközlési, méréstechnikai alkalmazások mellett ipari megmunkálási felhasználási területe is rendkívül sokoldalú (vágás, fúrás, hegesztés, lemezhajlítás, feliratozás, hőkezelés, átolvasztás, sztereolitográfia, felületi mikroötvözés, melegforgácsolás, stb.). A lézersugaras megmunkálásra gyakran használjuk az LBM (Laser Beam Machining) rövidítést. Az iparban leggyakrabban alkalmazott lézereket az 6.53. ábrán foglaltuk össze.

Az ipari megmunkálásokra legnagyobb számban a folyamatosan sugárzó CO_2 lézerek terjedtek el. A nagyteljesítményű CO_2 lézerek vázlatos felépítését a 6.54. ábrán láthatjuk.

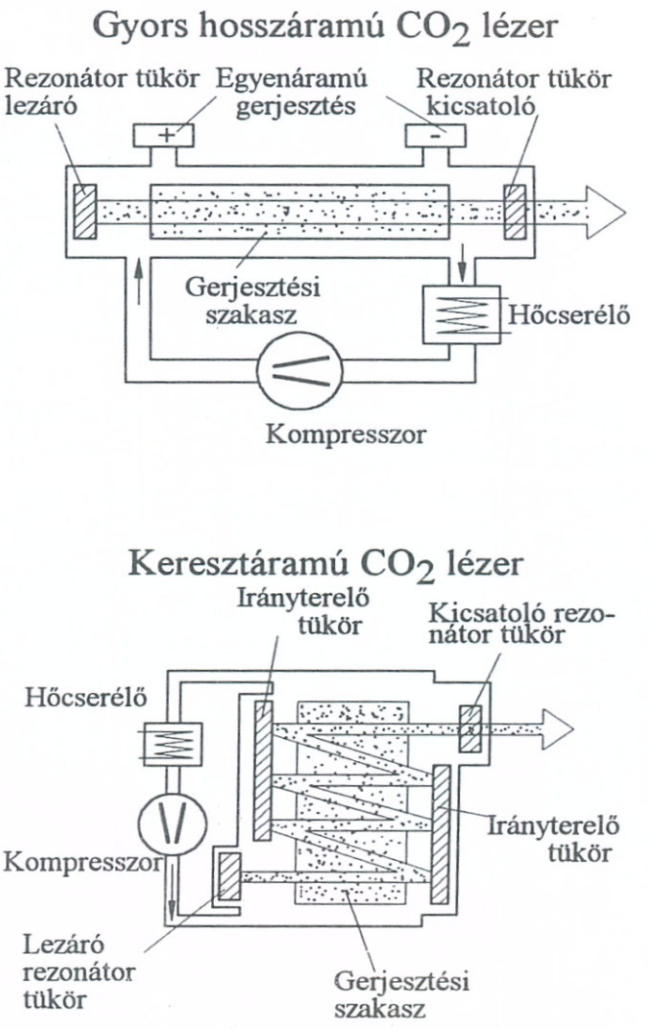
Ipari megmunkálásnál a lézersugárnak azon tulajdonságát használjuk ki, hogy rendkívül jól, kis területre (∅0.1÷0.5 mm) fókuszálható, így a fókuszban rendkívül nagy energiasűrűség érhető el. A fókuszban a sugár átmérője és energiája jól szabályozható, így a megmunkáláshoz szükséges átlagos energiasűrűség is jól kezelhető.

A sugár fókuszálására tükröket vagy lencséket alkalmazunk (lásd 6.55. ábra)

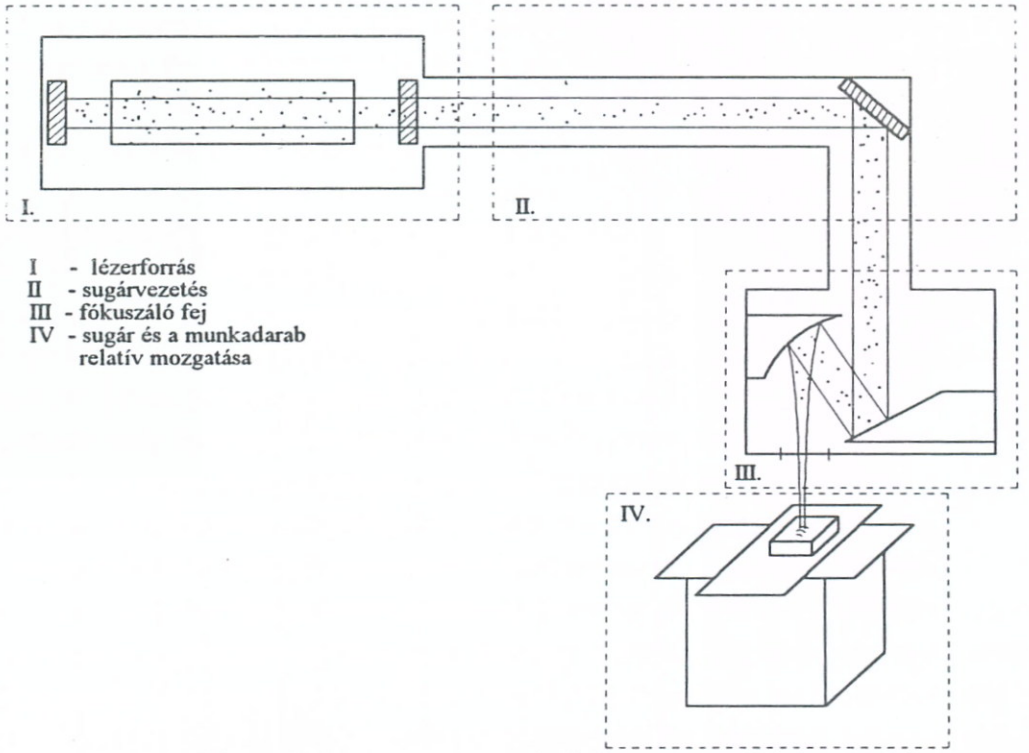
A lézer megmunkáló központok általában négy részből állnak (lásd 6.56. ábra)



6.54. ábra. Lézersugár fókuszálására alkalmazott megoldások



6.55. ábra. Ipari CO_2 lézerek szokásos elrendezése



6.56. ábra. Lézer megmunkálóközpont főbb részei

- lézerforrás
- sugárvezetés
- fókuszáló fej
- a sugár és a munkadarab relatív mozgását megvalósító berendezés.

A sugár és a munkadarab relatív mozgására elvileg három variáció képzelhető el

- álló sugárnyaláb - mozgó munkadarab
- mozgó sugárnyaláb - álló munkadarab
- mozgó sugárnyaláb - mozgó munkadarab

A gyakorlatban mindhárom variánsra találunk alkalmazási példát.

A lézerek jobb kihasználása miatt egy lézer mellé több megmunkáló munkahelyet telepítenek. Így ha az egyik állomáson a munkadarab cseréje vagy beállítása történik, a másik állomáson történik a megmunkálás, majd fordítva.

A lézersugaras megmunkálás technológiáját a lézersugaras vágás példáján keresztül mutatjuk be (lásd 6.57. ábra).

6.57. ábra. Lézersugaras vágás folyamata

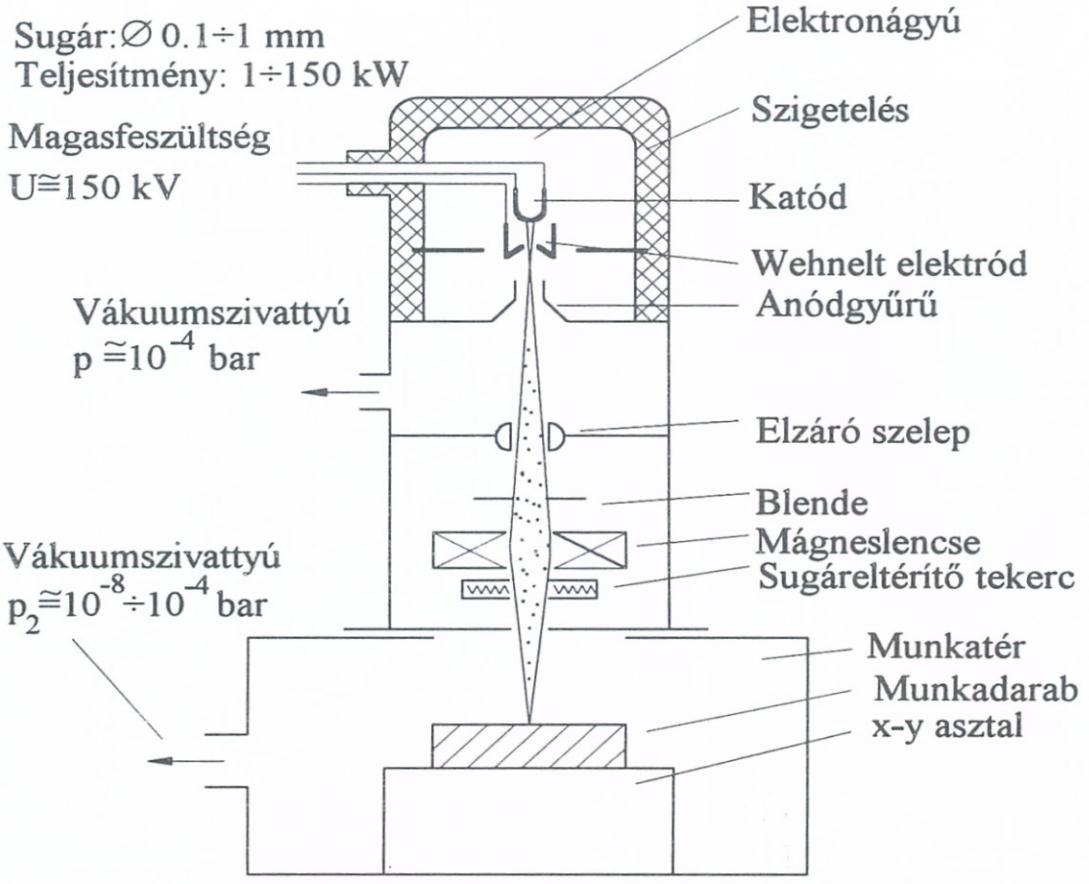
A lézersugaras vágáskor a fókuszált sugarat a vágandó munkadarab felületére irányítjuk. A sugárral párhuzamosan a vágan-dó anyagtól függő gázt vezetünk. A gáz a sugárnyalábot burkolja. A nagy energiasűrűség miatt a munkadarab anyaga a sugár keresztmetszetében megolvad, részben elég, részben elpárolog. A megolvadt, elégett anyag égéstermékét, az elpárolgott anyagot a gáz segítségével a vágási résből kifújjuk. A megolvadt, elégett, elpárolgott fázisok aránya a munkadarab anyagától függ.

Réz, rozsdaálló acélok vágásakor általában a megolvadt fázis dominál. Munkagázként semleges gázt, többnyire argont alkalmazunk. Egyéb acélanyagok vágásakor munkagázként oxigént alkalmazunk. A sugár az acélt gyulladási hőmérsékletre melegíti amely aztán az oxigén atmoszférában elég. Műanyagok vágásakor többnyire semleges gázt (argont) alkalmazunk. A nagy energiasűrűség következtében a műanyag így elgőzölög és gáz formában távozik.

Elektronsugaras megmunkálás

Az elektronsugaras megmun-káláskor (EBM Electron Beam Machining) az élesen fókuszált, felgyorsított elektronokból álló sugarat a megmunkálandó anyag felületére irányítjuk (lásd 6.58. ábra).

A munkadarab felületére becsapódó elektronok lefékeződnek, a kinetikai energiájuk hőe-nergiává alakul át. Az elektronok behatolásának mélysége az elektronok sebességétől, a gyorsító feszültségtől és az anyag sűrűségétől függ. Az anyagba bevitt hőenergia hatására az anyag megolvad, részben elgőzölög, az olvadék egy része a gőzbuborékok szétrobbanásakor az olvadékból kivetődik.



6.58. ábra. Elektronsugaras megmunkáló berendezés vázlatos felépítése

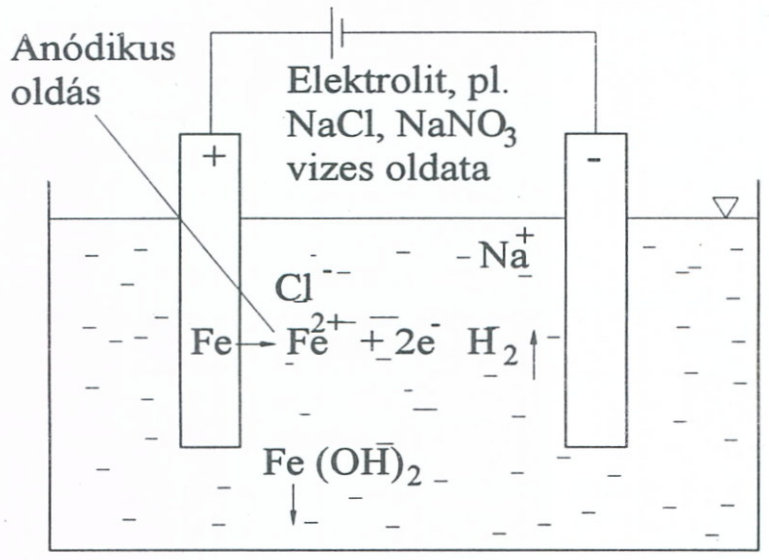
Mivel az elektronsugár a levegőben a nitrogén- és oxigénmolekulákkal ütközve szétszóródik, ezért mind a sugár vezetéséhez, mind pedig a megmunkáláshoz vákuumra van szükség. Az elektronsugár elektromágneses tér segítségével jól fókuszálható, iránya gyorsan változtatható, így általában megmunkáláskor a munkadarab és a sugár relatív mozgását a sugár mozgatásával érjük el.

Az elektronsugaras megmunkálást polimerizálásra, felületi edzésre, hegesztésre, átolvasz-tásra, fúrásra, vágásra, marásra, gravírozásra használjuk.

6.3.2. Elektrokémiai megmunkálások

Az elektrokémiai megmunkálások, ECM (Electrochemical Machining) az elektromos áram vegyi hatásán alapulnak.

Elektromosan vezető folyadékba (pl NaCl vizes oldata, $NaNO_3$ vizes oldata) két fémlapot merítünk és a fémlapokra egyenáramot kapcsolunk. (lásd 6.59. ábra) A pozitív póluson -anódon- a fém oldódik (anódikus oldás). A negatív póluson -a katódon- a víz felbomlik, hidrogén és hidroxidionok keletkeznek. A hidrogén eltávozik a folyadékból, míg a hidroxidionok a fémionokkal egyesülnek és nemoldódó fémhidroxid keletkezik.



\+ Anód (Munkadarab) - Katód (szerszám)

6.59. ábra. Elektrolízis folyamata

Elektrokémiai süllyesztés

Az elektrokémiai süllyesztés elvi vázlatát a 6.60. ábrán láthatjuk.

A megmunkálás alatt a katódon az elektrolit NaCl molekulái felbomlanak és a nátrium a vízzel nátriumhidroxidot képez, miközben hidrogén szabadul fel

$$2Na + 2H_2O \rightarrow 2\ NaOH + H_2$$

Az anódon a vas oldódik és vasklorid keletkezik

$$2Cl + Fe \rightarrow FeCl_2$$

A nátriumhidroxid és a vasklorid reakciója következtében nátriumklorid és vashidroxid keletkezik

$$2NaOH + FeCl_2 \rightarrow 2NaCl + Fe\ (OH)_2$$

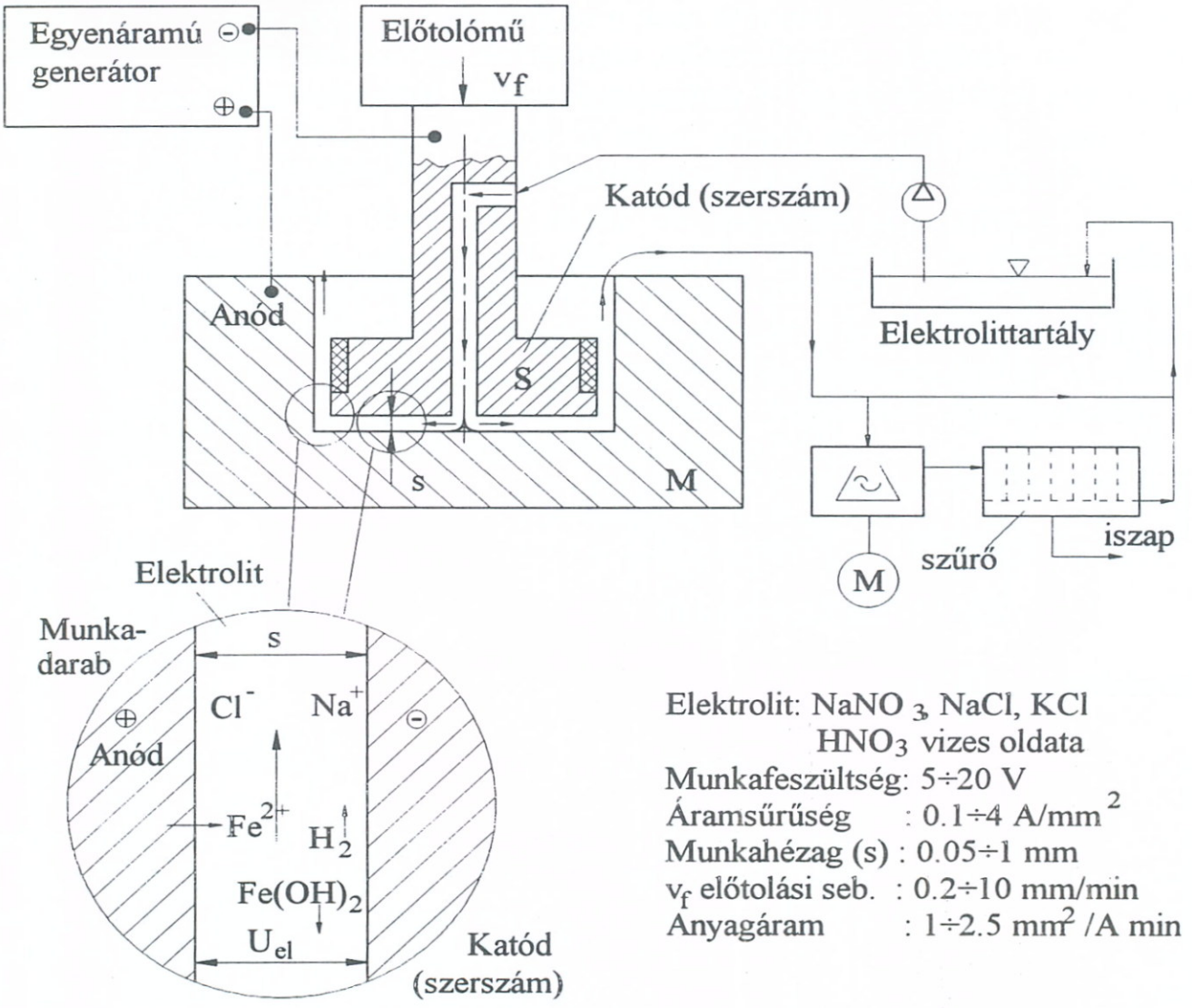
A munkahézagból a vashidroxidot tartalmazó elektrolitot elszívjuk, tisztítás és szűrés (ülepítés) után az elektrolitot ismét visszavezethetjük az elektrolit tartályba.

A lejátszódó kémiai folyamatból látható, hogy a szerszám (katód) nem fogy, így a folyamat jól reprodukálható. Az elektrolit nátriumklorid része nem fogy, ellenben a víz igen, így pótlásáról és a koncentráció szintentartásáról gondoskodni kell (a koncentráció változásával változik az elektrolit vezetőképessége, azáltal romlik a leképezés jósága).

A katódon hidrogén válik ki, ami robbanásveszélyes, gázbuborék formájában a katódot elszigeteli, ezáltal csökken az anyagleválasztási sebesség.

Ötvözött acélok megmunkálásakor az iszap gyakran mérgező anyagokat is tartalmaz (pl. Cr^{6+} ionok), ezért az iszapra vonatkozó környezetvédelmi utasításokat szigorúan be kell tartani.

Az elektrolitikus oldás alatt elektromos áram folyik az elektródok között, ezért az elektrolit elektromos ellenállása miatt hő is keletkezik. A hőmérséklet növekedésével a vezetőképesség javul (csökken), de a hőmérséklet nem érheti el a 100 C°-ot. Az elektrolit hűtéséről így gondoskodni kell.



6.60. ábra. Az elektrokémiai süllyesztés elvi vázlata

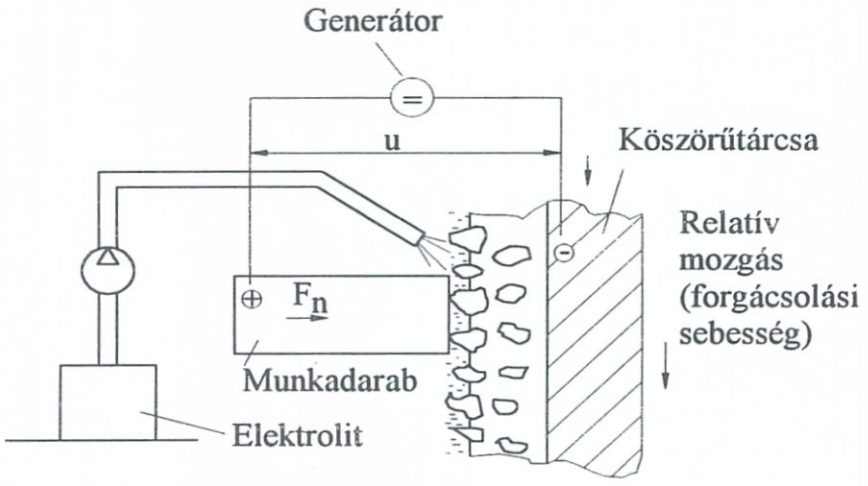
Elektrokémiai köszörülés

Az elektrokémiai köszörülés a hagyományos köszörülés és az elektrokémiai anyagleválasztás kombinációja.

A két eljárás kombinációjával az elektrokémiai megmunkálás előnyeit - a szerszámkopás elmaradása, az alacsony megmunkálási hőmérséklet, a szövetszerkezeti változások elmaradása - köszörülésre tudjuk átültetni.

A köszörűszerszám fémkötésű (elektromosan vezető) felületéből kiálló szigetelő szemcsék (gyémánt, korund stb) megakadályozzák a szerszám és a munkadarab közvetlen fémes érintkezését. A munkadarab felületét érintő szemcsék a szerszám mozgása következtében járulékos hatásként a munkadarab felületén keletkező anódfilmet (ami az elektrokémiai oldást hátráltatja) eltávolítják. Az elektrokémiai köszörülést túlnyomórészt keményfém szerszámok élezésére használják. Váltólapkák elterjedésével

jelentősége egyre csökkent. Ma már csak a nagysorozat- és tömeggyártásban alkalmazzák elsősorban váltólapkák újraélezésére, vagy alakos keményfém szerszámok élezésére. Az eljárás elvi felépítését és a főbb paramétereit a 6.61. ábrán láthatjuk.



6.61. ábra Elektrokémiai köszörülés

Elektrolit : $NaNO_3$, NaCl vizes oldata

Szerszám: Gyémántszemcsés korong fém (vezető) kötéssel

Munkafeszültség : 5÷15 V

Áramsűrűség :0.5÷2 A/mm^2

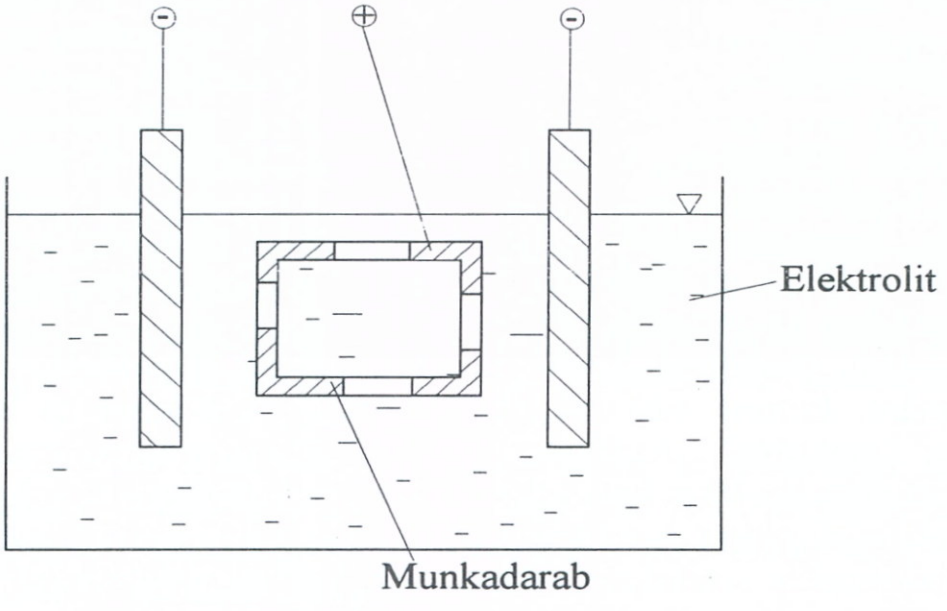
Szorítónyomás:2÷12daN/cm^2

Köszörülési seb.: 20÷30 m/s

Elektrokémiai polírozás

Elektrokémiai polírozáskor a munkadarabot elektrolittal megtöltött kádba helyezzük (lásd 6.62. ábra)

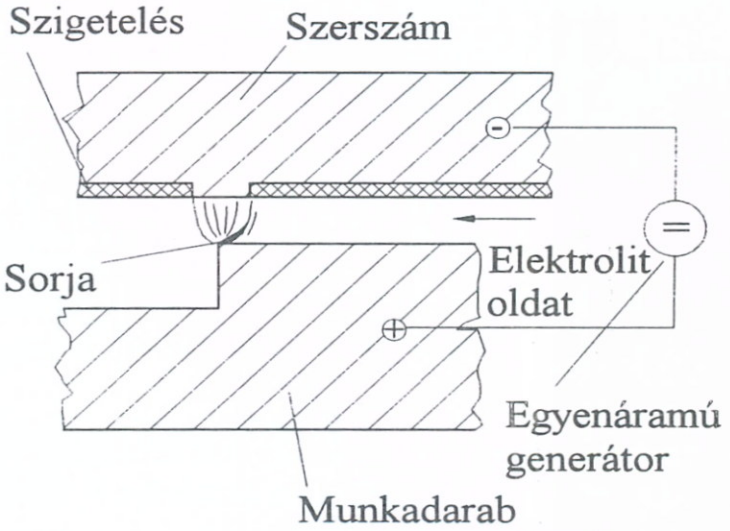
Mivel az elektródok közötti távolság lényegesen nagyobb, mint az elektrokémiai sülylyesztésnél, ezért az áramsűrűség nagyon alacsony, a munkadarab felületéről így nagyon vékony réteg válik le. Az anódként kapcsolt munkadarab és a katód egymástól független helyzetben merül az elektrolitba. Az áramsűrűség a munkadarab felületének érdességi csúcsain nagyobb, míg a mélyebb részeket az elektrolitból képződő sófilm tölti ki. Ílymódon a felület egyenetlenségei fokozatosan lemunkálódnak, a felületi érdesség javul.



6.62. ábra. Elektrokémiai polírozás elvi vázlata

Elektrokémiai sorjátlanítás.

Az elektrokémiai sorjátlanítás hatásmechanizmusa megegyezik az elektrokémiai sülylyesztéssel annyi különbséggel, hogy itt nincs előtoló mozgás. Az elektródokat a munkafeszültség bekapcsolása és az elektro-lit hozzávezetése előtt megfelelő távolságra (0.5 ÷ 1 mm) beállítjuk. (lásd 6.63. ábra). A szerszám azon részeit, amelyek a munkadarab felületéhez közel vannak, de ott nem kívánatos az anyagleválasztás, szigeteljük. Mivel a sorja minden esetben a munkadarabból kiálló csúcsot is jelent, ezért az áramsűrűség a csúcshatás és a kis elektródköz miatt itt a legnagyobb, így a Faraday-törvény értelmében itt a legnagyobb az anyagleválasztási sebesség is. Az elektród megfelelő kialakításával, különösen bonyolult alakoknál, nagysorozat- és tömeggyártásban rendkívül gazdaságosan alkalmazható.



6.63. ábra. Elektrokémiai sorjázás elvi vázlat

6.3.3. Kémiai megmunkálások, maratás

A kémiai megmunkálások a marandó munkadarab és a marószer között lejátszódó vegyi reakciókon alapulnak. Az anyagleválasztás tehát közvetlenül a marószer és a munkadarab kölcsönhatásában történik, nincs szükség semmilyen áramforrásra sem.
A kémiai megmunkálások közül csak a maratást tárgyaljuk.
Maratáskor a megmunkálandó munkadarabfelületet a megfelelő marószerrel közvetlen kapcsolatba kell hozni. A munkadarabnak azon felületeit, amelyeket nem akarunk megmunkálni, a marószer elöl el kell takarni. Ornamentális hatás miatt, feliratok készítésekor az üvegből készült munkadarabokat gyakran maratjuk. Maratáshoz hidrogénfluoridot használunk. Az üveg maratásakor lejátszódó vegyi reakció

SiO_2	$+4HF$	$\rightarrow SiF_4$	$+2\ H_2O$
üveg munka-	+maratő	→ Reakció	
darab	anyag	termék	+ víz
(folyadék)			

Az üveg és a hidrogénfluorid reakciójaként folyékony sziliciumtetrafluorid és víz keletkezik. Az üvegnek azon felületeit, amelyeket nem akarunk maratni, el kell takarni. Takaráshoz viaszt, vagy parafint használnak.

Az üveget folyékony hidrogénfluoriddal maratva a mart felület üvegszerű fényes, átlátszó lesz. Matt üvegfelület előállítására gázállapotú hidrogénfluoridot használnak. A maratás befejeztével a felületeket mosással meg kell tisztítani.

Különböző anyagok maratására különböző receptek ismeretesek. Acél maratásához sósavból, kénsavból és foszforsavból álló marószert alkalmaznak. A maratási hőmérséklet 90 ÷ 100 C° Az anyagleválasztási sebesség kb. 0.025 mm^3/min.

A maratáskor ügyelni kell arra, hogy a takarórétegel fedett felületeknél, a bevonat határánál alámaródás tapasztalható. Az alámaródás a maratási mélységgel azonos nagyságú.

6.3.4. Folyadéksugaras megmunkálások

A gyártásban manapság alkalmazott folyadéksugaras vágóberendezések a magasnyomású víz roncsoló hatását használják ki. A ma használatos berendezésekben folyamatos működéskor a nyomás eléri a 400 MPa-t, a folyadékvolumen kb 10 l/min. Alkalmazási területe a műanyagok megmunkálása, textíliák és élelmiszerek vágása. Abrazív anyagok hozzákeverése kibővíti az alkalmazást a szendvicsanyagok, fémek, üvegek és kerámiák területére.

A folyadéksugaras vágás alapelve.

A folyadékot, ami általában víz, nagy nyomáson egy kis átmérőjű fúvókához vezetjük. A nyomás a fúvóka előtt eléri a 400 MPa-t. A fúvóka átmérője 0,1mm-es tartományban van, ezáltal rendkívül magas (hangsebesség feletti) sugársebességet tudunk elérni (~600 m/s).

A vízsugaras megmunkáló berendezések 3 fő komponense (lásd 6.65. ábra):

- szűrőberendezés (I)
- nagynyomású vízpumpa (II)
- vágóberendezés (III)

A szűrőberendezés kiszűri a vízből a szilárd részecskéket és egyéb komponenseket, ezáltal növeli a szivattyú és a fúvóka élettartamát.

A nagynyomású szivattyúk manapság túlnyomórészt a 6.64. ábrán látható nyomásfokozás elvén alapulnak.

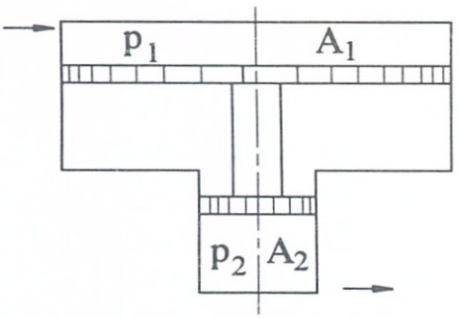
$$p_2 = \frac{A_1}{A_2} \cdot p_1$$

A kisnyomású rész általában zártrendszerű olajhidraulika.

A nagynyomású víz nyomásingadozásait a rendszerbe épített légüst csillapítja le.

A vágóberendezés alapvetően két részből áll,:

- a nagynyomású fúvókából és a
- fúvóka ill. munkadarab mozgató berendezéséből.



6.64. ábra. A nyomás fokozásának elve

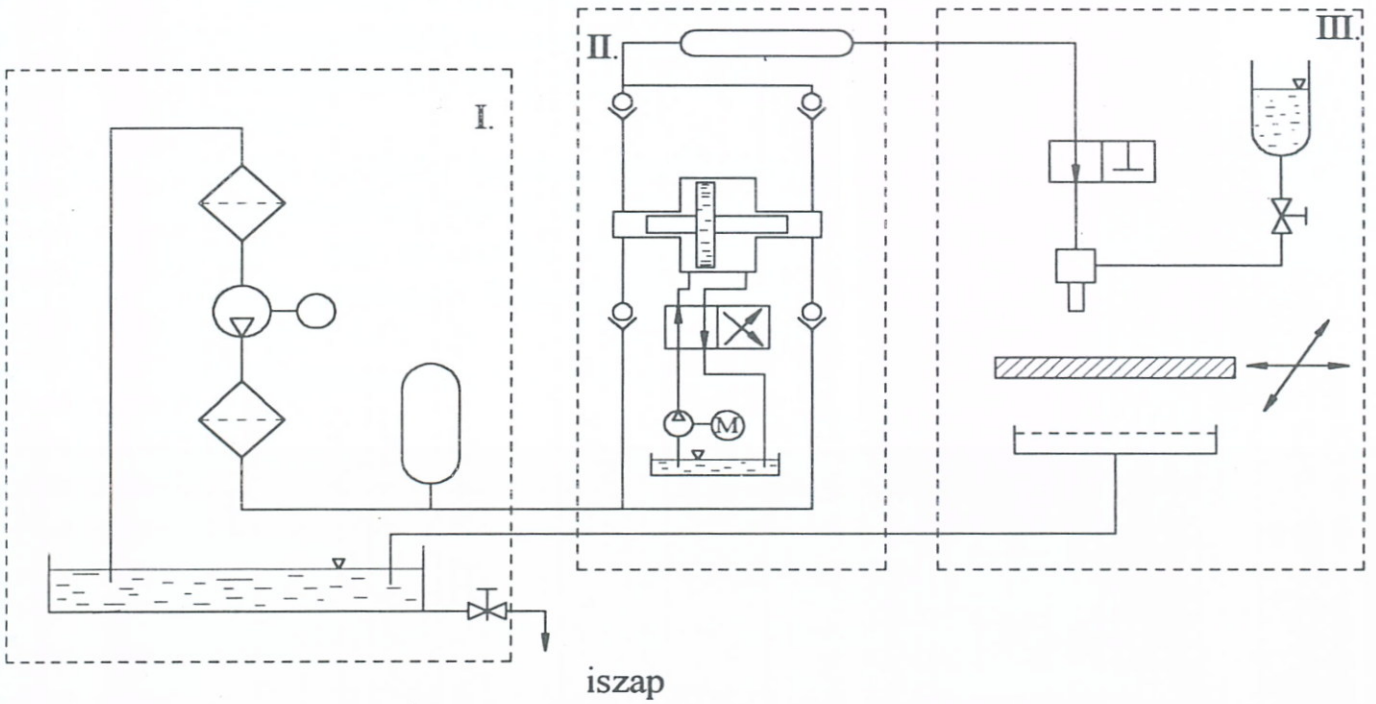
A magasnyomású vízben tárolt energia egy 0.1 ÷ 0.3 mm átmérőjű fúvókában alakul át kinetikai energiává. A fúvóka anyaga szintetikus zafir amely egy jól tömítő fém tartóba van befoglalva. A jó tömítést megfelelő kúpos kialakítással és plasztikus deformációval hozzuk létre.

A munkadarab és a fúvóka kölcsönös mozgatását 3 koordinátás berendezés végzi. Nagyobb darabok 3D-s megmukálásakor csuklós-vagy portálrobotot is alkalmazunk. A vágás után kilépő víz maradék energiáját el kell nyeletni, majd a vizet és a leválasztott anyagot (forgács) egy tárolóedényben össze kell gyűjteni.

Tiszta vízsugaras vágással műanyagokat, bőrt, textíliákat, gumit, papírt, szivacsos anyagot és élelmiszereket (mélyhűtöttet is) vágunk. Nagyon puha és rugalmas anyagok vízsugaras vágásakor az anyag "mereven" és ridegen viselkedik, ezáltal kis vágási szélességgel az anyag szélétől nagyon kis távolságban is biztonsággal vághatunk.

Kemény anyagok (fémek, üveg, kerámia, szálerősítésű műanyagok, stb.) vágásakor a vízsugár kinetikai energiája csak igen vékony réteg átvágására elegendő. A vízsugárba abrazív anyagot adagolva (kétkomponenses sugár) az átvágható vastagság lényegesen növelhető.

Az abrazív anyag általában kvarchomok, gránit, sziliciumkarbid, korund, de használnak üveggyöngyöt és vasport is.



6.65. ábra. A vízsugaras vágóberendezés elvi vázlata

Felhasznált irodalom:

[1] Bali János: Forgácsolás, Budapest, Tankönyvkiadó, 1985.
[2] Serope Kalpakjian: Manufacturing Processes for Engineering Materials, Chicago, Addison-Wesley, 1991.
[3] Wilfried König: Köszörülés, dörzsköszörülés, tükrösítés. Budapest, Müszaki Könyvkiadó, 1983.
[4] Stuart C. Salmon: Modern Grinding Process Technology McGraw-Hill, 1992
[5] W. König : Fertigungsverfahren Band 1 VDI Verlag, Düsseldorf 1990
[6] W. König : Fertigungsverfahren Band 3 VDI Verlag, Düsseldorf 1990
[7] H. Wenle : Fertigungstechnik 3. WBK Universität Karlsruhe 1990

7. A TERMÉK MINŐSÉGE, A MINŐSÉGIRÁNYÍTÁS ELEMEI

7.1. A minőség jellemzői

Minden ipari tevékenység rendeltetése és feladata az, hogy termékeket

- kellő mennyiségben
- megfelelő minőségben,
- gazdaságosan állítson elő.

A minőség biztosítására irányuló spontán törekvés azonban nem mindig jár eredménnyel. A minőséggel összefüggő tevékenységeket ezért tudatosítani, tervezni, szervezni és ellenőrizni kell, hogy a minőségre vonatkozó követelményeket teljesíthessük.

A minőség biztosítását célzó intézkedések egy része nyílt láncú információfolyamként értelmezhető (vezérlés-típusú), más része visszacsatolt rendszernek tekinthető (szabályozás-típusú). E kettősséget foglalja egybe a " minőségirányítás " elnevezés. (nem pontosan ugyanezt a fogalmat fejezi ki a nemzetközi szóhasználatban meghonosodott " minőségmenedzsment " kifejezés).

A minőség fogalmának értelmezése többféle lehet: itt mi most kettővel foglalkozunk.

A szó köznapi értelmezése szerint a minőség akkor megfelelő, ha

- a szabvány előírásainak megfelel a termék,
- a megrendelő átveszi a terméket,
- a fogyasztó (vevő) nem reklamál.

Nyilvánvaló, hogy a minőség fogalma ennél lényegesen többet takar: a minőség ennél lényegesen több jellemzővel írható (írandó) le. Ezek - a minőség komplex műszaki értelmezése szerint - két csoportba: a számszerűsíthető és a nem számszerűsíthető jellemzők csoportjába oszthatók. Nézzük a legfontosabbakat:

a/ Számszerűsíthető jellemzők:

- teljesítmény
- hatásfok
- pontosság
- megbízhatóság
- üzemkészség
- üzembiztonság
- élettartam
- energiafogyasztás
- tömeg
- térfogat
- fajlagos mutatók
- moduláris felépítés
- kiépítettség
- zaj- és rezgésmentesség

- környezetkímélés
- klímaállóság
- software-ellátottság
- HW-SW-kompatibilitás
- automatizáltsági szint
- szolgáltatások (kimenetek)
- külföldi szabványoknak megfelelés
- felhasznált anyagok minősége
- referenciahelyek száma
- stb.

b/ Nem számszerűsíthető jellemzők:

- korszerűségi szint
- korszerűség tartama
- rugalmas alkalmazhatóság
- sokoldalúság
- integrálhatóság
- a kezelés egyszerűsége
- a kiszolgálás komfortja
- karbantartási igény
- javíthatóság
- alkatrész és szervízellátottság
- a szerelés minősége
- értékesítési kultúra
- iskolázás, kiképzés
- továbbképzés, patronálás
- esztétikai tartalom (anyagok választéka, térbeli forma, felületek minősége, színek harmóniája, betűk és számok típusa, jelek és szimbólumok alakja, fény- és hanghatások, stb.)

A minőség hordozója egyébként háromféle lehet: termék, szolgáltatás vagy a kettő együtt.

7.2. A minőség jelentősége

A minőség jelentősége az utóbbi években jelentősen megnövekedett. A vevő ugyanis nemcsak alapvető szükségleteinek kielégítésére törekszik, hanem személyes elképzeléseinek kielégítését is elvárja. Külföldi elemzések szerint az elsődleges vásárlási ok a minőség, és csak ezután következik a funkció és az értékállóság szempontja. Vásárlási argumentumként tehát a minőség lépett előtérbe, a minőség döntő versenytényezővé fejlődött. Ezt támasztja alá 500 európai vezető iparvállalat megkérdezése, ami az alábbi eredményeket mutatta:

- 91% a minőséget abszolút fontosnak tartja,
- 89% vevőik elsődleges vásárlási indokát a minőségben látja,
- 95% a minőség jelentőségének növekedését prognosztizálja.

Az említett elemzés szerint a minőség nem megfelelő volta az alábbi következményekkel jár:

- a termék minőségével elégedetlen vevők 90 %-a ezután elkerüli a terméket;
- egy elfogadható átlagon felüli minden hiba legalább 3-4 %-kal csökkenti az eladási volument;

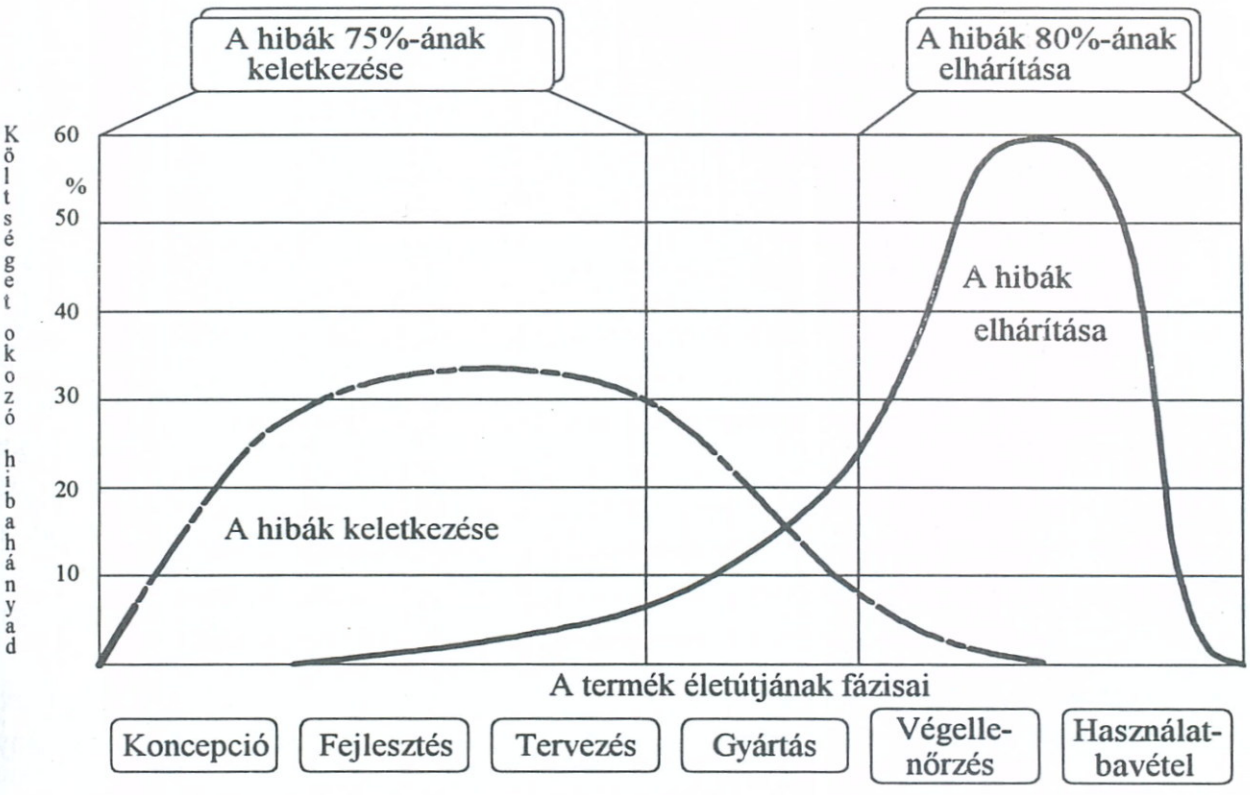
- az elégedetlen vevők mindegyike legalább 9 további személynek mondja el panaszát (de ez a szám akár 20 fölé is emelkedhet);
- új vevőt csak 5-ször akkora ráfordítással lehet szerezni, mint amekkorával a régit megtartani.

Ezek a tényezők jelentik a legfőbb motivációt a minőség biztosítására.

A minőség biztosítására irányuló tevékenység a gyártmány keletkezésének valamennyi fő fázisára kiterjed. Ezek az alábbiak:

- piackutatás, a feladat megfogalmazása;
- fejlesztés;
- tervezés és szerkesztés;
- gyártás és szerelés;
- végellenőrzés;
- használatba vétel.

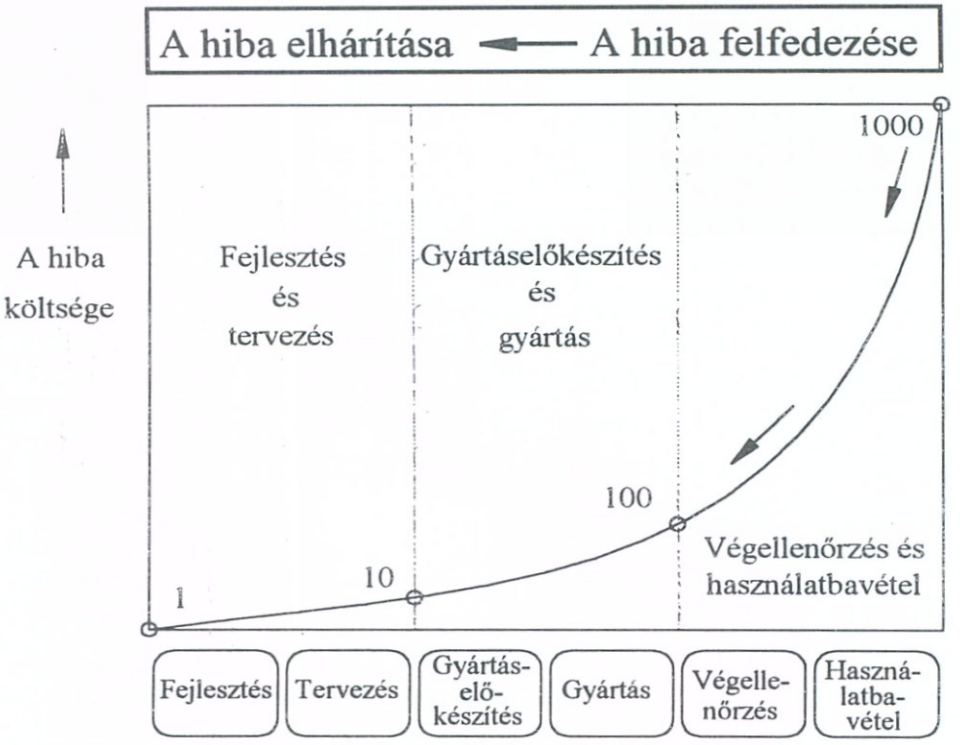
A minőség biztosítása tehát a vevő kívánságainak és elvárásainak gondos összegyűjtésével és értékelésével kezdődik. Az ezt követő fejlesztési, tervezési és szerkesztési fázisokban a minőségnek megfelelő gyártást készítik elő. A gyártási és szerelési folyamatokat kísérő minőségvizsgálatok információkat szolgáltatnak a minőség-szabályozókörök felépítéséhez. Ez a funkciója a végellenőrzésnek is. Miután pedig a termék a vállalatot elhagyta, a szervízfelügyelet információkat szolgáltat a termék használati viselkedéséről. Ez lényegében a gyenge pontok feltárása és a szükséges korrekciók bevezetésének megalapozása.



7.1. ábra: A hibák keletkezése és elhárítása

A minőségbiztosítási tevékenység korábban a végellenőrzésre korlátozódott. A hibafelderítés és a hibás termékek kiszűrése volt a cél. Ez a tevékenység a 80-as évek kezdetén - a prevenció érdekében - a tervezési fázisra tolódott el. Egy elemzés ugyanis megállapította, hogy a német vállalatoknál a hibák 70-80 %-a a tervezési fázisban keletkezik. Ezzel szemben a hibaelhárítás túl későn, 80 %-ban csak a végellenőrzéskor, - és ami még végzetesebb: a vevőnél, a használatbavétel fázisában következik be (7.1.ábra). Könnyű belátni, hogy a hibák elhárításának költségei a gyártás előrehaladtával növekednek, ill. a hiba a tervezés fázisában sokkal kisebb ráfordítással javítható ki, mint végellenőrzéskor, vagy különösen a használatbavétel után (7.2. ábra).

Ezzel összefüggésben igen tanulságos a vezető ipari államok termékfejlesztésének összehasonlítása. A japán vállalatok később kezdik el a gyártmányfejlesztést, mint az

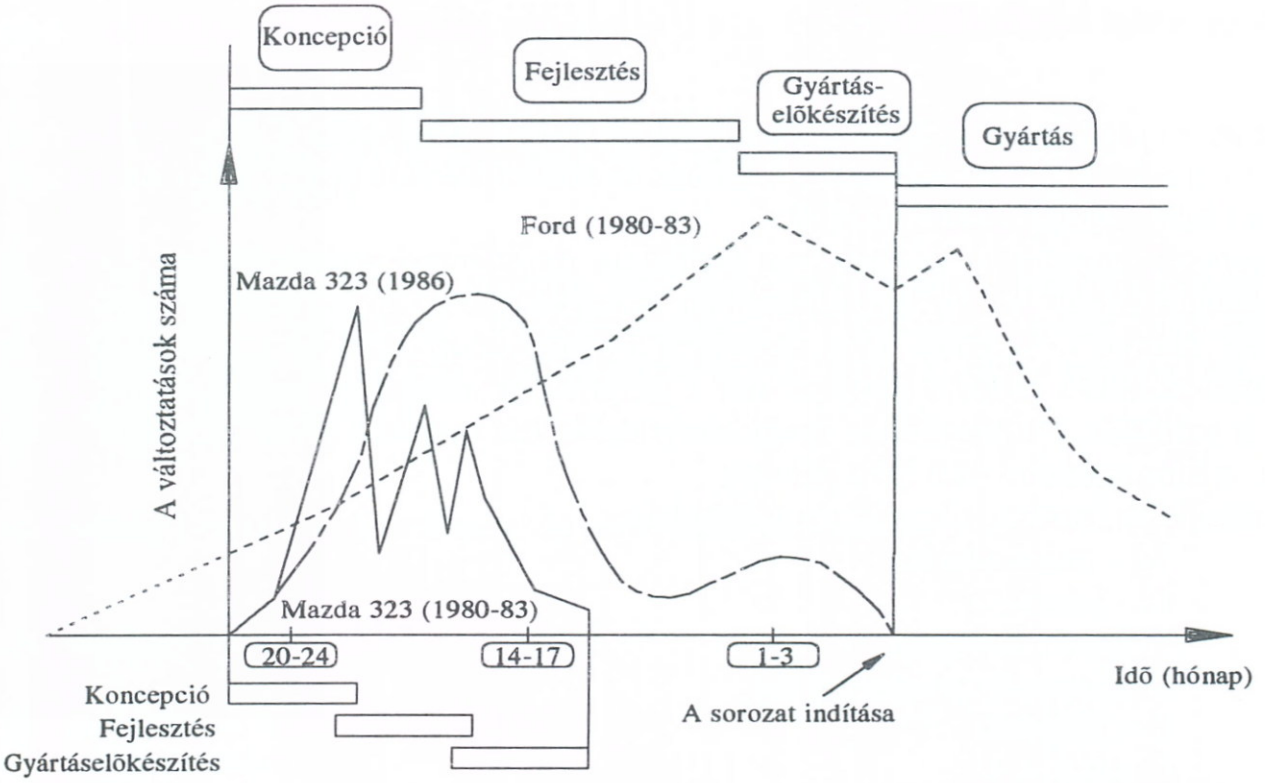


7.2. ábra: A hibák költségeinek alakulása

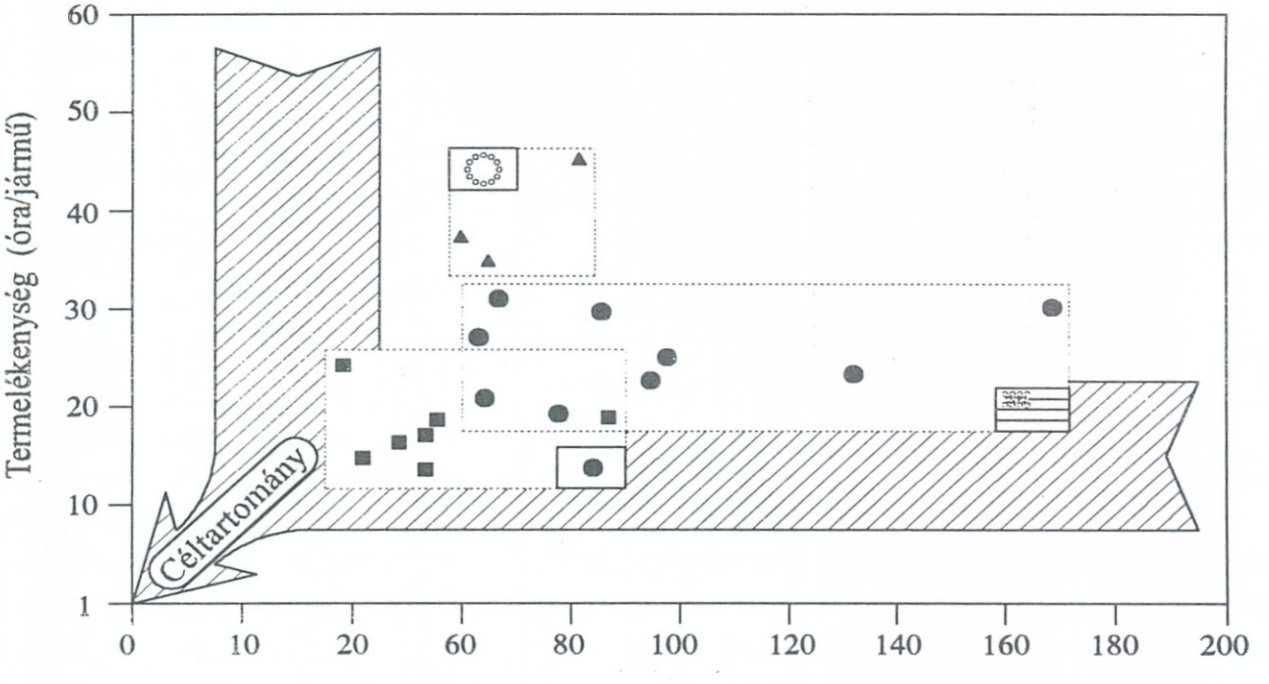
amerikaiak (ez a megállapítás a nyugat-európaiakra is igaz). Ezt követően azonban a termék keletkezésének korai fázisaiban - amelyekben a termékek tulajdonságaira való ráhatás potenciálja még nagy és a változtatás költségei csekélyek - intenzív hibamegelőző tevékenységet fejtenek ki. A műszaki változtatások több, mint 90 %-át már a gyártás megkezdése előtt egy évvel lezárják (7.3. ábra) . Azt is érdemes megemlíteni, hogy a 323 típusú Mazdán 1983-ban 1738, 1986-ban már csak 1023 változtatást hajtottak végre.

Végezetül egy másik összehasonlítás azt igazolja, hogy a minőség és a termelékenység nem egymás ellen ható tényezők (7.4. ábra).

A minőségi követelmények fokozódásának egyre nagyobb szerepe van a nemzetközi kereskedelmi forgalomban. Ez a magyarázata annak, hogy a különböző minőségirányítási



7.3. ábra: A japán és az amerikai gyártmányfejlesztés összehasonlítása



7.4. ábra: A minőség és a termelékenység kapcsolata

modellek kialakításának megkönnyítésére nemzetközi szabvány-ajánlásokat dolgoztak ki (ISO 9000-9004). Bár e szabványok nem kötelező érvényűek, a nemzetközi termékforgalomban ma már megkerülhetetlenek.

7.3. A gyártási hibák áttekintése

Minőségen a gépipari technológiában gyakran csereszabatosságot értünk. Csereszabatos a munkadarab akkor, ha válogatás, beállítás és utánmunkálás nélkül szerelhető úgy, hogy az előírt követelményeknek megfelel.

A csereszabatosság a gépiparban általában geometriai szabatosságot jelent (bár a csereszabatosságot mi is általánosabban értelmezzük). A geometriai szabatosság, a minőség hiánya a gyártási hiba. Mivel a megmunkáló (gyártó-) rendszerben sok és jellegüket tekintve sokféle tényező hat a geometriai jellemzők kialakulására, a gyártási hibák is sokfélék. Az áttekintés megkönnyítésére két rendező elvet szoktunk szem előtt tartani: a hiba eredetét és a hiba jellegét.

A gyártási hiba forrása, okozója az alábbi lehet:

M - munkadarab,
K - készülék,
G - szerszámgép,
S - szerszám, valamint az
I - irányítás,
F - folyamat,
K - környezet,
S - szubjektum.

E hibaforrások egyszerre működnek, ezért azt szoktuk mondani, hogy a sok hibahatás miatt hibátlan alkatrész nincs, minden darab szükségképpen hibás, és a hibátlan gyártás csak a véletlen műve lehet.

A hibák jelleg szerinti áttekintésének három aspektusa van:

a/ a leíró függvény szerint a hiba lehet

- helytartománybeli,
- időtartománybeli,
- frekvenciatartománybeli;

b/ a vizsgált környezet nagysága szerint:

- makrogeometriai, mint
  - mérethiba,
  - szöghiba,
  - alakhiba,
  - helyzethiba,
  - hullámosság,
- mikrogeometriai, mint
  - érdesség,
  - mikroérdesség;

c/ a matematikai modellezhetőség szerint:

- rendszeres (szisztematikus),
- véletlen (sztochasztikus) és
- durva hiba.

A gyártásnál fellépő hibahatások részben vagy egészben kompenzálhatják egymást, de a hibák keletkezését célirányos tevékenységgel: a méréssel nyert információk visszacsatolásával kell megelőzni (méretszabályozás). Erre a célra számos ún. aktív mérőberendezést fejlesztettek ki.

7.4. A minőség javításának műszaki és szervezési módszerei

7.4.1. A minőség tervezése

A minőségtervezés a minőségi jellemzők
kiválasztása,
csoportosítása és
súlyozása, valamint
a minőséggel kapcsolatos követelmények konkretizálása (specifikálása)
a megvalósítás lehetőségeinek figyelembevételével.

A minőség tervezése minőségbiztosítási programterv formájában valósul meg. A programterv a minőségbiztosítási intézkedések (szabályok, utasítások, irányelvek) tervezésére és határidőzítésére szolgál, különösen a fejlesztés és a tervezés-szerkesztés fázisában. A tervezés során döntéseket is hoznak, amelyek mindenekelőtt a költségeket rögzítik.

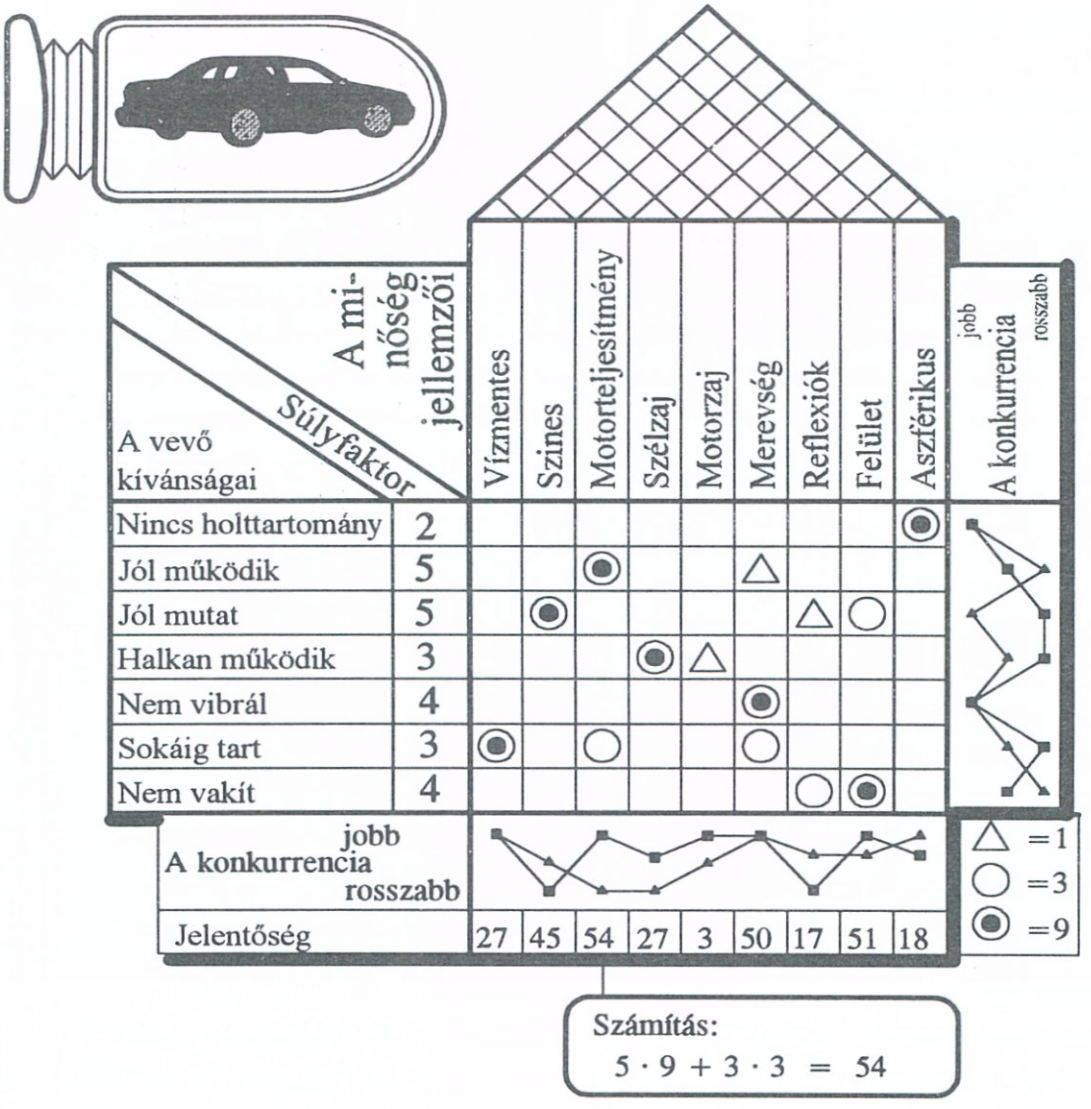
A minőségtervezésnek az egyik korszerű és a fejlett ipari államokban elterjedt módszere a QFD (Quality Function Deployment, a Módszeres Minőségi Tevékenység Rendszerbe állítása).

A QFD a minőségtervezés olyan módszere, amely a termék piac által igényelt tulajdonságainak felderítését, feltárását támogatja. A QFD-módszer szakok (osztályok) feletti munkacsoportban (team-ben) valósul meg, a koncepció megfogalmazásától kezdve egészen a sorozatgyártás kiérleléséig. A módszer alkalmazása révén a vállalat különböző területei (pl. marketing, gyártmányfejlesztés, tervezés, gyártás, minőségellenőrzés) - egymással összehangolt tervezési és kommunikációs lépéseik következtében - közelebbi kapcsolatba kerülnek egymással. Ennek folytán a vevő követelményeit a lehető legjobban lehet figyelembe venni.

A vevő követelményeinek, igényeinek felderítése piackutatás segítségével megy végbe, ami része a marketingnek. A követelményekre vonatkozó információhoz primer és szekunder kutatással jut hozzá a piackutató. A primer kutatás megkérdezés és megfigyelés révén új, eddig ismeretlen információkat szolgáltat; a szekunder kutatás ezzel szemben meglévő adatokhoz nyúl vissza (pl. a minőség alakulásának adatai, fejlesztési eredmények, idegen tanulmányok, stb).

A QFD-filozófia alapelve: a vevő elvárásainak és kívánságainak a gyártmány keletkezésének minden fázisában nagyobb fontosságot kell tulajdonítani, mint a tervezőmérnökök megvalósításra vonatkozó elképzeléseinek, azaz a termékfejlesztés valamennyi tevékenységét a vevő szemszögéből kell értelmezni.
A QFD-terveket az alábbi 4 fázisban hajtják végre:

1. **fázis:** a vevők követelményeiből levezetik a termék minőségi jellemzőit;
2. **fázis:** a minőségi jellemzőkből meghatározzák a termék komponenseinek jellemzőit;
3. **fázis:** a komponensek specifikációjából levezetik a megmunkálási folyamatokkal szemben támasztott követelményeket;
4. **fázis:** a megmunkálási folyamatokból kiadódik a szükséges gyártó-és ellenőrzőeszközök köre és választéka.



7.5. ábra: Példa QFD-kártyára

Az 1. fázisbeli feladat megoldására célszerűen grafikus szemléltetést alkalmaznak (House of Quality). Egy ilyen példát (motorikus mozgatású külső visszapillantó-tükör QFD-kártyája) mi is bemutatunk (7.5. ábra).

A QFD-módszer alkalmazásának számos előnye van, például:

- szisztematikus felépítés és általános használhatóság a minőségtervezésben érdekelt valamennyi vállalati szférában;
- a termék tulajdonságai "jó fedésben vannak" a vevő követelményeivel;
- a vállalati erőforrások a vevő által igényelt jellemzőkre koncentrálódnak.

A QFD-módszer alkalmazásának hátrányai:

- a szakemberek team-jében elengedhetetlen az idő- és költségigényes megbeszélés, vita;
- a "minőség-ház"-ban ábrázolás már viszonylag egyszerű terméknél is bonyolulttá válhat.

7.4.2. Az ellenőrzés tervezése

Az ellenőrzés tervezésén a minőségellenőrzés tervezését értjük. E tevékenység célja az, hogy megteremtse a műszaki és szervezeti feltételeket a minőségellenőrzés hatékony végrehajtásához.

Az ellenőrzés tervezésének rövid - és hosszútávú feladatai vannak:

a/ rövidtávú feladatok:

- az ellenőrzési terv (műveletterv) kidolgozása;
- az ellenőrzési utasítás (műveleti utasítás) kidolgozása,
- az ellenőrzési eredmények dokumentálásának megtervezése,
- az ellenőrzési adatok feldolgozásának megtervezése,
- mérőberendezések programozása,

b/ hosszútávú feladatok:

- ellenőrzési módszerek tervezése,
- mérőeszközök felügyeletének tervezése,
- mérőeszköz-tervezés és beszerzés,
- konstrukciós tanácsadás,
- képzés és továbbképzés.

Az ellenőrzési terv kidolgozása ugyanabban a fázisban történik, mint a gyártási műveletterv elkészítése, vagyis a konstrukciós kialakítás lezárása után és a termék gyártásának megkezdése előtt. Az ellenőrzési terv elkészítésének bemeneti adatai a munkadarabrajz, a darabjegyzék és a műveletterv. További tervezési dokumentumok: szabványok, irányelvek; a gépek gyártási pontosságára vonatkozó segédletek; katalógusok a megfelelő ellenőrző eszközök és eljárások kiválasztásához, stb.

Fontos feladat az ellenőrzés terjedelmének meghatározása, vagyis döntés a 100 %-os, vagy a mintavételes ellenőrzés mellett. Az egyes eljárások jellemzői:

a/ 100 %-os ellenőrzés:

- sorozatgyártásban kritikus alkatrészeknél,
- kis sorozat-gyártásban,
- egyedi gyártásban,
- A lehetséges legnagyobb biztonságot szolgálja,
- nagy a ráfordítás.

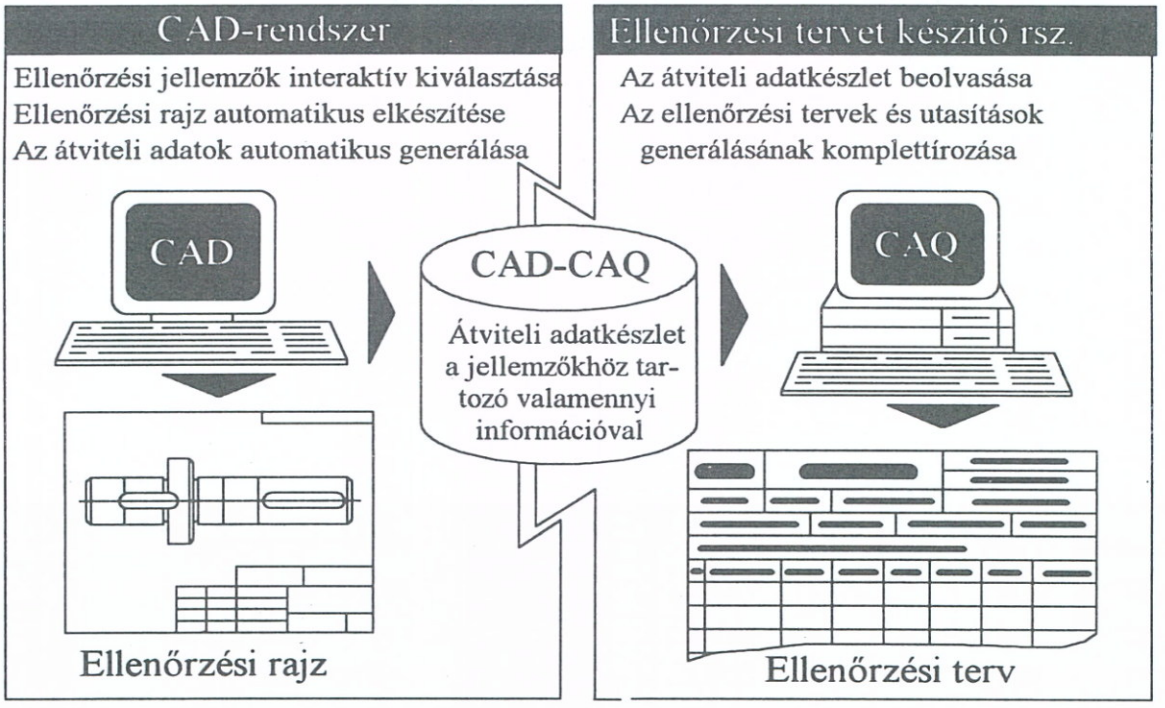
b/ Mintavételes ellenőrzés:

- nem kritikus alkatrészeknél sorozatgyártásban, és
- roncsolásos vizsgálatoknál.
- Nagyobb a selejt kockázata,
- kisebb a ráfordítás.

Mintavételes ellenőrzésnél jellemzőként a minta nagyságát és a mintában megengedhető selejthányadot kell megadni.

A 100 %-os ellenőrzést nyomatékosan meg kell különböztetni a teljes ellenőrzéstől, ami a munkadarab valamennyi jellemzőjének ellenőrzését jelenti.

Nagyszámú geometriai adattal bíró alkatrészek ellenőrzésének tervezése nagy ráfordítással járó tervezési folyamat. (Egy offset-nyomdagép bázisalkatrészének műhelyrajza pl. mintegy 1200 méretet tartalmaz, az ellenőrzendő jellemzők száma 247). A tervezési ráfordítás mellett mindehhez még tetemes dokumentációs munka is járul. Jelentős megtakarításokat lehet elérni a tervezés számítógépes támogatásával, ill. a CAD- és CAQ- komponensek összekapcsolásával (CAQ: Computer Aided Quality Assurance) (7.6. ábra).



7.6. ábra: Az ellenőrzési terv és utasítás integrált elkészítése

Ez az eljárás további előnyöket is nyújt:

- lehetővé válik a jellemzők korai definiálása a tervezés-szerkesztés fázisában,
- az ellenőrzési rajzokat automatikusan lehet elkészíteni,
- az ellenőrzési terv elkészítésekor a bemeneti hibákat az adatátvitel révén el lehet kerülni.

7.4.3. Minőségbiztosítás a fejlesztésben és a tervezés-szerkesztésben

Statisztikai elemzések szerint a termék összes hibájának mintegy 70-80 %-át lehet a tervezési tevékenységek elégtelenségére visszavezetni. Ennek nagy része a fejlesztés és a tervezés-szerkesztés területére esik.

A hibák felfedezése és elhárítása azonban túlnyomórészt csak egy későbbi fázisban történik meg: a gyártás megkezdése után a termelésben, vagy pedig a felhasználónál.

A fenti tényekből következik, hogy a fejlesztésben és a tervezés-szerkesztésben - a minőség preventív biztosítása érdekében - erőteljesebb rendszabályokhoz kell nyúlni. Ilyenek:

- a fejlesztés és a tervezés-szerkesztés korai fázisában a termék tulajdonságainak befolyásolására irányuló ráhatás még nagy, és a változtatás ráfordítása csekély, mivel a konstrukciós változtatásoknak még nincs hatása a gyártásra;
- a konstrukciós változtatások időbeli előrehozatalával szavatolni lehet, hogy jóval a gyártás megkezdése előtt stabilan kialakított konstrukció álljon rendelkezésre úgy, hogy a minőségnek megfelelő gyártással idejekorán el lehessen kezdeni foglalkozni.

A fenti követelmények kielégítésére számos módszert fejlesztettek ki, amelyek közül itt az alábbi hárommal foglalkozunk:

- tervbírálat (Design Review: DR),
- minőségértékelés,
- konstrukció-FMEA (Failure Mode and Effect Analysis; Fehler-Möglichkeit - und Einfluss-Analysis; hibalehetőség és -hatáselemzés).

Tervbírálat (Design Review: DR)

A tervbírálat valamely terv/fejlesztési eredmény formális felülvizsgálata azoknak a problémáknak és elégtelenségeknek (fogyatékosságoknak, hiányosságoknak) megállapítására, amelyek hatással vannak a termék felhasználására és a felhasználás feltételeire. Célja a korrekciós intézkedések (rendszabályok) identifikálása és bevezetése annak biztosítására, hogy a termékkel szemben támasztott követelmények teljesüljenek. A megvalósítás módja szerint a DR-nek két típusát különböztetjük meg:

a/ Szóbeli tervbírálat. Akkor alkalmazzák, amikor a DR csak kevés résztvevőre korlátozódik. Az objektum kritikai vizsgálatának eredményeit jegyzőkönyvben rögzítik.

b/ Írásos tervbírálat. Ebben az esetben a különböző területek szakemberei - előre meghatározott időn belül - írásos kifogásokat és javaslatokat terjesztenek elő. Ezeket a team tagjai között kiosztják, és az egyes területek illetékes képviselői azokat még a tulajdonképpeni ülés előtt megválaszolják.
A tervbírálat feladata:

- valamennyi résztvevő tapasztalatait felhasználni,
- a hibákat, elégtelenségeket feltárni és elhárítani,
- az eredményeket dokumentálni,
- az osztályokat túllépő kommunikációt javítani.

A tervbírálat céljai:

- biztosítani a vevő kívánságainak teljesítését,
- javítani a termék minőségét,
- idejekorán felismerni a gyenge pontokat,
- redukálni a késői tervmódosításokat,
- lerövidíteni a fejlesztés időtartamát.

A tervbírálatot a projektvezető vezetésével egy team hajtja végre. A team összetételét esetenként állapítják meg, de mindig tagja a fejlesztés, a tervezés-szerkesztés, a gyártás és a gyártáselőkészítés képviselője.
A vizsgálati objektumot ellenőrző lista alapján elemzik, amelyet a projektre vonatkoztatva a résztvevők állítanak össze.
Egy esztergapad hűtő-kenőfolyadék szivattyújára pl. a következő ellenőrző lista készült:

1. A szivattyú eléri a névleges szállítási mennyiséget?
2. A szennyeződések eléggé ki vannak szűrve?
3. Garantálja a tartós üzemet?
4. Jók a csatlakozó méretek?
5. Védve vannak a villamos érintkezők csepegő víz ellen?
6. Védve vannak a dugaszoló csatlakozók a felcserélés ellen?
7. Ellenállnak a dugaszoló csatlakozók a rezgéseknek?
8. A szivattyút könnyen ki lehet cserélni?
9. stb.

Az ellenőrző kérdések listájának összeállítását kérdés-katalógusok támogatják. A kérdés-katalógust a mindenkori követelményeknek megfelelően kell összeállítani, állandóan felülvizsgálni és aktualizálni. Emellett célszerű, ha az előző termékek hibái kritikai kiértékelésének eredményei is helyet kapnak a katalógusban.
Az ellenőrző lista elkészülte után - néhány héttel a DR-ülés előtt - a team tagjainak átadják a vizsgált objektumnak lehetőség szerint: teljes dokumentációját. Az itt megállapított problémákat a fejlesztővel ill. az illetékes szakemberrel lehetőség szerint még az ülés előtt tisztázzák. Az ülésen a vizsgált objektumot az ellenőrző lista alapján teljesen felülvizsgálják. Az itt kialakuló megoldásokat írásban rögzítik.

Minőségértékelés

A minőségértékelés is a fejlesztés, ill. a tervezés-szerkesztés fázisában alkalmazott minőségbiztosítási eljárás, amelyet főleg az alábbi tipikus esetekben alkalmaznak:

- jellegében alapvetően új fejlesztés,
- új anyagok/gyártási eljárások alkalmazása,
- meglévő termékek újszerű alkalmazása,
- várhatóan nagyobb minőség- és megbízhatóság-kockázat.

A cél itt is a gyenge pontok idejekorán való feltárása és értékelése a sorozatgyártás megkezdése előtt, a gyártmány létrejöttében érintett valamennyi vállalati szféra kikérdezése révén.
A minőség értékelése három lépcsőben megy végbe:

1. **lépcső:** a terv előzetes elméleti vizsgálata a funkció megvalósulása és a megbízhatóság szempontjából (más gyártmányokkal is összehasonlítva);
2. **lépcső:** a fejlesztési minta (=prototípus) bírálata; a tervezett termék funkciójának és megbízhatóságának újbóli értékelése próbák és tesztek alapján;
3. **lépcső:** értékelés a sorozatgyártásra való alkalmasság szempontjából próbaminták alapján, továbbá olyan mintákra támaszkodva, amelyek a későbbi sorozatgyártás feltételei között készültek.

Az értékeléshez ellenőrző listát is készítenek a problémák csomópontjainak gyors meghatározása céljából. Az ellenőrző lista pl. ilyen kérdéseket tartalmaz:

- megfelelés a törvényes előírásoknak és szabványoknak,
- megfelelés a vevő kívánságainak,
- statikus és dinamikus szilárdság,
- tartós üzemi viselkedés,
- karbantartási igény,
- könnyű javíthatóság,
- prognózis a használatban bekövetkező meghibásodási rátára:
  - a garanciális idő alatt,
  - a garanciális időn kívül
- összefoglaló értékelés ("teljes mértékben megfelelő", javítási lehetőségekkel "korlátozottan megfelelő" , vagy "elégtelen").

A válaszokat mindhárom lépcsőre külön-külön értelmezve adják meg, A válaszok tartalma a következő lehet:

a/ problémamentes, a követelményeket biztonsággal kielégíti;
b/ pozitív deklaráció még nem adható, de valószínűen problémamentes;
c/ végleges minősítés még nem adható, de valószínűen problematikus;
d/ igen problematikus, még semmi kilátás a megoldásra.

Valamennyi értékelési lépcső lezárása után minőség-előrejelzést készítenek a várható selejthányadról, amelyre a sorozatgyártás körülményei között meghatározott időn belül számítani lehet. A minőség-prognózis a sorozatgyártás fázisában abban is segít, hogy a gyártásnak vagy magának a minőségértékelésnek rendellenességeit felderítse.

FMEA

Az FMEA (a rövidítés jelentését lásd előbb) a minőség biztosításának támogatására kidolgozott módszer (eljárás, technika). Az eljárás a potenciális hibák fajtáit, okait, hatásait és megelőzésük módjait elemzi. Az FMEA rendeltetése az, hogy alkalmazásával valamely termék kifejlesztésénél ill. gyártási eljárásnál a potenciális hibákat már a tervezés folyamán felfedezzék és megfelelő intézkedésekkel elkerüljék. Az eljárás révén a hibák összefüggéseire és a minőségre gyakorolt hatásaira vonatkozó tapasztalati tudást szisztematikus módon gyarapítják és a tapasztalatokat módszeresen felhasználják.

Az alkalmazás súlypontja és célja szerint az eljárásnak két fontosabb változatát különböztetjük meg:

- konstrukció-FMEA,
- folyamat-FMEA.

A különböző fajták elkülönülését a vizsgált objektum határozza meg. Mindazonáltal az egyes változatok rokonságban vannak egymással.

A konstrukció-FMEA valamely terv befejezéséhez kapcsolódik. Feladata, hogy összegyűjtse a terv potenciális hibáit, a hibák értékelése révén felderítse a terv gyenge pontjait, és megfelelő intézkedésekkel megelőzze azokat. A cél az, hogy konstrukciós szempontból kifogástalan tervhez jussunk.

A folyamat-FMEA a gyártás szemszögéből elemzi a hibalehetőségeket.

Az FMEA végrehajtását az alábbi szakaszokra lehet tagolni:

1. Szervezeti előkészítés (az alkatrészek ill. folyamatok kiválasztása, a felelősök és team-ek meghatározása, a határidők rögzítése).
2. Tartalmi előkészítés (az elemzés tárgyának struktúrálása, a team-ben a feladatok kiosztásának rögzítése).
3. Az elemzés végrehajtása (a potenciális hibák, hibaokok és következmények meghatározása; az előirányzott intézkedések leírása, előfordulásuk és felfedezhetőségük szerint).
4. Az elemzés eredményeinek kiértékelése (a kockázat minimalizálásához szükséges intézkedések meghatározása valamennyi gyenge pont esetében, a felelősök és a határidők rögzítése).
5. A határidők követése és az eredmények őrzése (a tervezett intézkedések figyelemmel kísérése a határidők és az eredményesség szempontjából; a javított állapot értékelése).

Az FMEA szakterületek (funkcionális osztályok) felett álló módszer, vagyis a vállalat különböző osztályainak szakemberei közösen dolgoznak az FMEA létrehozásán. Ennek alapja az, hogy a gyártmány minősége szempontjából fontos tudás a vállalaton belül

különféle területek személyein oszlik meg. Márpedig szinte valamennyi szakterület befolyásolja a gyártmány minőségét. Az FMEA tehát jellegzetes team-munka.
Az FMEA eredményes bevezetése feltételezi a dolgozók kielégítő motivációját és megfelelő kiképzését. Ehhez az FMEA bevezetését a vállalatnál megfelelően meg kell tervezni.

7.4.4. Minőségbiztosítás a gyártásban

A minőség biztosításához szükséges információkhoz méréses és minősítéses ellenőrzési eljárások révén jutottunk. Az ellenőrzési terv 100 %-os vagy mintavételes ellenőrzést írhat elő. A költségek tekintetében optimális mintavételes eljárásnak különösen a sorozatgyártásban van nagy jelentősége.

A minőségellenőrzésre alkalmazott mérési technika kivitelezése durván az alábbiak szerint tagolható:

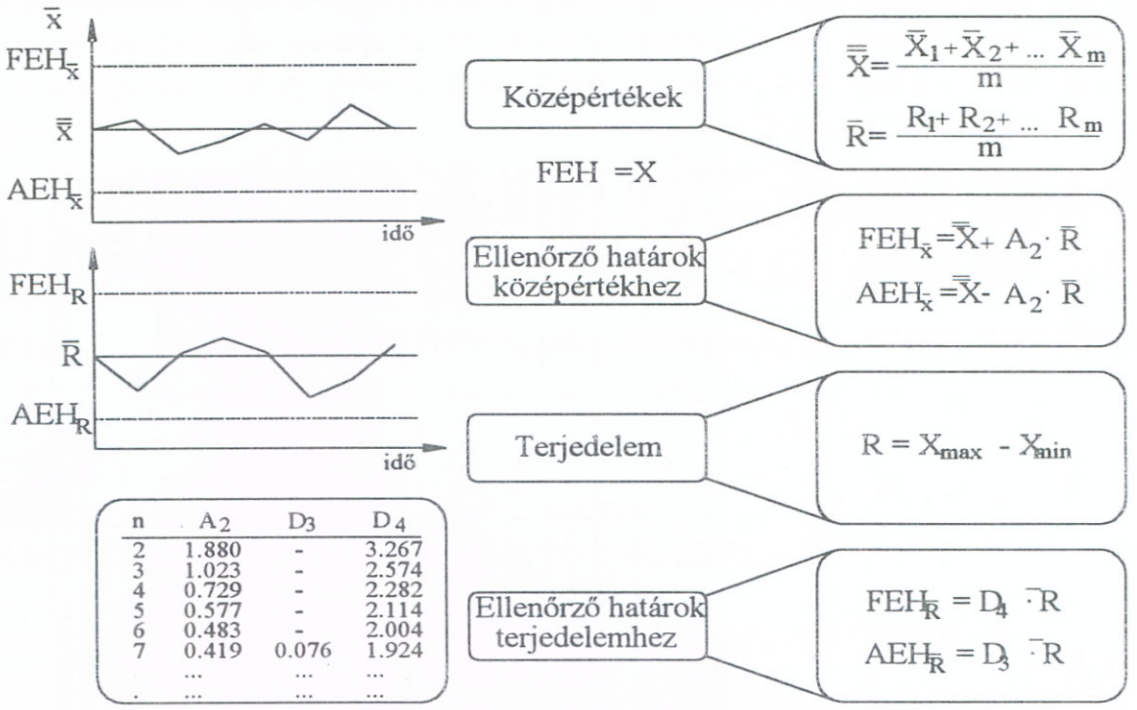
- ellenőrzés hagyományos mérőeszközök alkalmazásával,
- ellenőrzés digitális mérőeszközökkel, adatátviteli csatlakozással,
- ellenőrzés komplex mérőrendszerekkel.

Az ellenőrzést - főleg a sorozatgyártásban vagy komplex geometriai alakzatok esetében - automatizált eszközökkel végzik. A többmérőhelyes mérési technika gyorsan terjedő alkalmazása rövid mérési időt, egyidejűleg nagy információsűrűséget eredményez, ezért elsősorban a sorozatgyártásban van jelentősége. Az alkatrész-spektrum és a gyártási mód (egyedi vagy sorozatgyártás) alapján azonban rugalmas mérőrendszerek is szükségesek lehetnek. Rugalmas automatizált minőségellenőrzés céljára az alábbiakat lehet alkalmazni:

- többkoordinátás mérőgépek,
- mérőrobotok (= nagysebességű 3D-s mérőgépek)
- rugalmas mérőállomások mérőcellákban.

A mérés végrehajtását az ellenőrzési adatok kiértékelése követi. Ennek alapvető célja az, hogy egyrészt dokumentálja a minőségi követelmények kielégítésének tényét, másrészt információkat szolgáltasson a folyamatba való beavatkozáshoz.

Az ellenőrzési eredmények puszta számértékei általában rossz áttekintést adnak a gyártási folyamatról. Elterjedt gyakorlat ezért az ellenőrzés eredményeinek az idő függvényében történő grafikus ábrázolása. A leggyakrabban vizsgált statisztikaijellemzők: az átlag ($\bar{x}$), a szórás (s) és a terjedelem (R). E diagramokat ellenőrző-kártyáknak hívjuk. Ha a vizsgált jellemző értéke az ún. ellenőrző határokat eléri, a folyamatba be kell avatkozni (Statistical Process Control, SPC). Az ellenőrző kártyákra és az ellenőrző határok számítására a 7.7. ábra mutat példát.



n	A_2	D_3	D_4
2	1.880	-	3.267
3	1.023	-	2.574
4	0.729	-	2.282
5	0.577	-	2.114
6	0.483	-	2.004
7	0.419	0.076	1.924
	...	...	...
.	...	...	...

7.7. ábra: A középérték/terjedelem ellenőrző kártyák számításának elemei

Az ábra két statisztikai jellemző: az $\bar{x}$ középérték és az R terjedelem ellenőrző határainak meghatározását mutatja be. A vonatkozási alap mindkét esetben a középérték ($\bar{\bar{x}}$, illetve $\bar{R}$), erre értelmezzük az ellenőrző határok értékeit.

Az ellenőrző határok konkrét számértékeit - a matematikai statisztikában szokásos gyakorlat szerint - az R terjedelemből, pontosabban a minták R_i terjedelmének átlagából $\bar{R}$ becsüljük olymódon, hogy azt az x valószínűségi változó esetében egy A, az R valószínűségi változó esetében pedig egy D együtthatóval megszorozzuk. Mindkét fajta együttható értéke függ az n sorozathossztól (vagyis a mért darabok számától). Az együtthatók számértékei statisztikai táblázatokból vehetők.

A képletben szereplő m az egyenletes időközökben vett minták számát jelenti. Ha az azonos nagyságú mintákban egyenként K elem van, akkor (az ábra jelölésével) n=k·m. A táblázat szerint az A és D számértékei az n értéktől függenek.

(Érdemes megjegyezni, hogy az R ellenörző határainak helyzete az $\bar{R}$-hoz viszonyítva nem szimmetrikus, mivel adott n esetében $D_3 \neq D_4$-gyel. Ennek magyarázata az, hogy a minták terjedelmének eloszlása nem szimmetrikus).

Az ellenörző kártyák adatainak feldolgozásához, továbbá az adatfeldolgozás eredményeinek grafikus megjelenítéséhez számítógépi programok állnak rendelkezésre.

Az SPC lehetővé teszi a folyamatra ható rendszeres (szisztematikus) és véletlen jellegű (sztochasztikus) zavarások felismerését és elhárítását. Segédeszköze a fentiek értelmében az ellenőrző kártya, amely elősegíti a folyamat történéseinek fokozottabb átláthatóságát.

Az ellenőrző határok a folyamat természetes szóródását jellemzik. A zavartalan folyamat statisztikai jellemzői - véletlen eloszlással - az ellenőrző határok között mozognak. Ha a statisztikai jellemzők az ellenőrző határokat túllépik, nem-természetes hatások jelenlétéről van szó. Valamely szisztematikus hatás fellépése esetén a folyamatot leállíthatjuk, meghatározzuk a hiba okát és megszüntetjük azt.

Ezután az ellenőrző határokat újból kiszámítjuk, és a folyamatot ismét megindítjuk. (Merőben gyakorlati jellegű kérdés, hogy az átlagok számításához általában periodikusan, meghatározott időközökben összesen 10 mintát veszünk; a minták egyenként 5-5 elemet tartalmaznak).

Felhasznált irodalom:

[1] Tilo Pfeifer: Qualitätsmanagement. Strategien, Methoden, Techniken. Carl Hanser Verlag München Wien, 1993.

8. FOLYAMATFELÜGYELET ÉS DIAGNOSZTIKA

A forgácsolási megmunkálásoknak, csakúgy mint minden termelő eljárásnak két alapvető követelménye a kivánt termék előállítása a

- megfelelő minőségben és
- gazdaságosan.

Ideális esetben az anyagalakítási folyamat a tervezettnek megfelelően, felügyeleti igény nélkül mehetne végbe. A valóságban azonban sem a rendszeres, (beállítási hibák, szerszámkopás ....) sem a véletlen meghibásodások (szerszámtörés, anyag inhomogenitás ...) nem tervezhetők előre, ezért a tervezett minőség fenntartása, a gazdaságossági tényezők minimális romlása csak a folyamat egész idejére kiterjesztett felügyelettel biztosítható, mely által megpróbáljuk előre jelezni és elkerülni a folyamat káros elfajulásait. Ez utóbbi tevékenységet nevezzük a forgácsolási folyamat felügyeletének.

8.1 Alapfogalmak

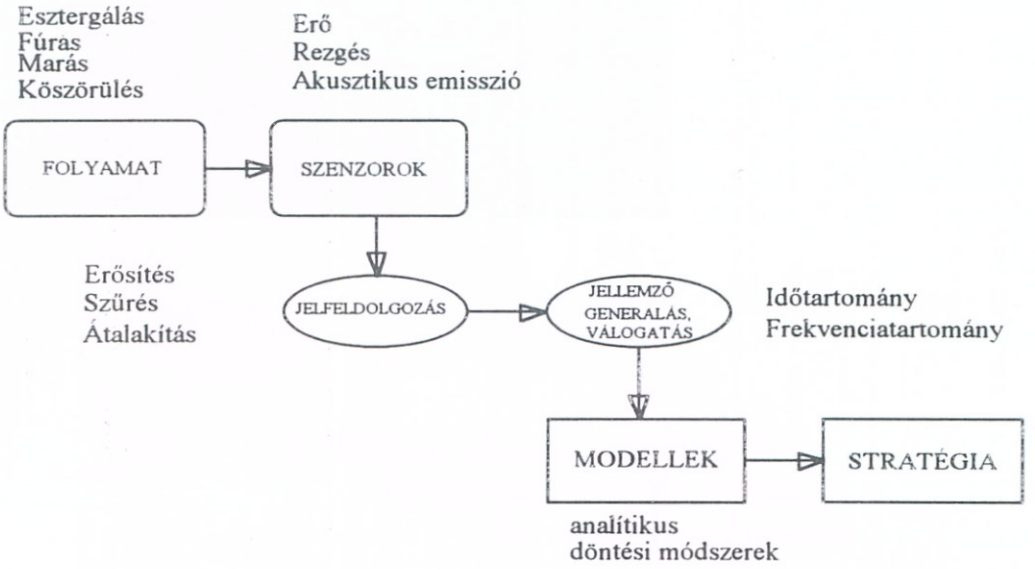
A megmunkáló rendszerek felügyeleti alrendszerétől leginkább azt várják tehát el, hogy biztosítsa a rendszer optimális teljesítő képességét. A felügyelet fókuszában az 8.1. táblázatban vázolt felügyelendő elemek állnak.

Rendszer elemek	Paraméterek	
	Időkritikus	Nem idő kritikus
SZERSZÁMGÉP	• vezérlés állapot, • ütközés,	• pontosság, • hődeformációk,
SZERSZÁM, SZERSZÁMOZÁS	• szerszámpálya, • szerszámtörés,	• szerszámkopás, • szerszámjelenlét,
MUNKADARAB	• méret, • alak, • felületi minőség,	• nyers, kinduló méret, • anyagállapot, • felületi réteg állapot, • szorítás állapot
FOLYAMAT	• stabilitás (rezgés), • terhelés (deformáció), • forgácsleválás (törés),	• hűtés • forgácseltávolítás
SZERSZÁM KONDICIONÁLÁS	• korongszabályozás	• szerszámméret

8.1. táblázat Felügyelet elemei

A felügyeleti rendszerek struktúrája

Általában a folyamatok és speciálisan a megmunkálási események felügyeleti rendszerei az 8.1. ábrán látható rendszerstruktúrával jellemezhető. A felügyelendő folyamat egyes elemei időben rendkívül kritikus feldolgozást igényelnek, más paraméterek esetében bőségesen van idő, bármilyen értékelő tevékenységre. (A feldolgozási időigény szempontjából történő osztályozást az 8.1. táblázat tartalmazza.) A felügyeleti rendszerek szükségességét az 1.B. ábrán bemutatott Shankey diagram magyarázza.. Az elméletileg lehetséges működési idő a veszteségek következtében annak kb. 15%-ára csökken. Az ábrán, tapasztalt adatokra támaszkodva jól látható a rendszer kihasználtságának növekedése a felügyeleti funkció által.



8.1. ábra Felügyeleti rendszer struktúrája

Irányítási rendszerek lehetséges stratégiái:

I. Felügyeleti stratégia: A rendszer folyamatos mérésre alapozott jellemzőket határoz meg, azok értékét kijelzi a kommunikációs eszközön (képernyő), szükség esetén riasztó jelzést ad az operátornak, veszélyes helyzet kialakulása esetén a rendszer működtetését felfüggeszti az operátor döntéséig.

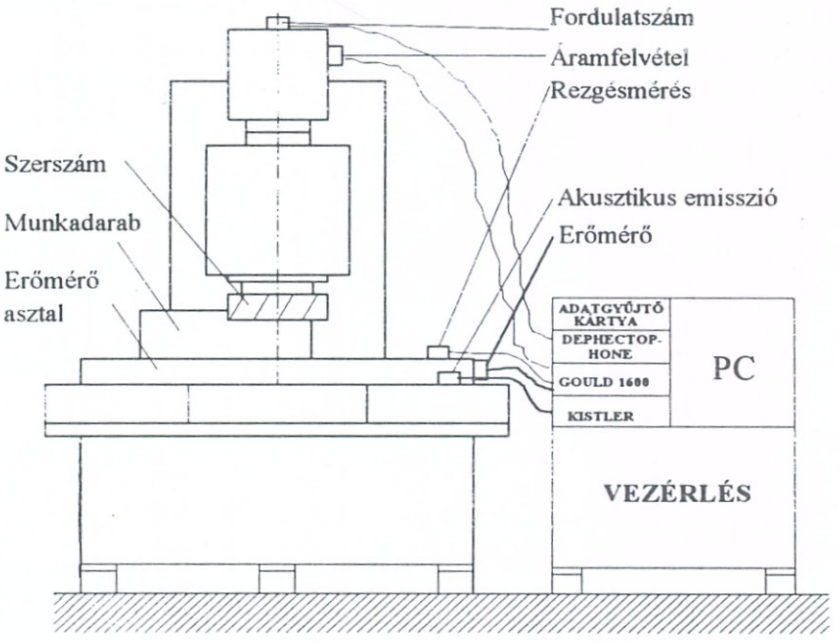
II. Diagnosztikai stratégia: A rendszer megvalósítja a monitorizálási stratégiát, valamint azon túl funkcionális, okságí összefüggést keres (próbál találni) a meghibásodások (események) és azok eredete között. A keresés eredményeként a rendszer javaslatot tesz a szükséges beavatkozásra.

III. Adaptív szabályozási stratégia: Zárt hatásláncú rendszer, amely valamely diagnosztikai döntésre alapozva beavatkozik a folyamatba, módosítja a megmunkálási paramétereket (v_c, f, a) valamely szabályozási vagy optimálási cél elérése érdekében.

8.2. Szenzorok, szenzorintegráció

A szenzorok, érzékelők az embert helyettesítő számítógépes felügyeleti, diagnosztikai rendszer érzékszervei. Ha tökéletességében nem is, az érzékelés sebességében esetenként jól helyettesítik az ember természetes érzékszerveit (látás, hallás, tapintás, szaglás, ízlelés) A szenzorokkal szemben támasztható legfontosabb követelmények, a szenzorkiválasztás szempontjai az alábbiak szerint foglalhatók össze:

- Olyan közel mérni (elhelyezni a szenzort) a megmunkálás helyéhez amennyire csak lehet.
- A szenzor elhelyezése nem csökkentheti a gép statikus és dinamikus merevségét a forgácsolási paramétereket (kis helyigény).
- Elhasználódás és karbantartás mentesség.
- Ellenállás az errozív tér hatásaival szemben (forgács, kosz, elektromágneses hatás, hő és mechanikus hatások).
- Üzemi körülmények közötti működtethetőség.
- A szerszám és vagy munkadarabtól való funkcionális függetlenség.
- Megvalósítható adatátvitel a forgó szerkezeti elemekről az állóra.
- Érzékenység, jó felbontó képesség (mintavételezési frekvencia)
- A szenzorjel zajmentességének biztosítása (jel/zaj viszony)
- Gyors reakció idő (lehető legkisebb késleltetés)
- Nullpont beállítás (kalibrálás, hitelesítés) egyszerűsége.
- A szenzor szignálból képzett paraméter lehetőleg lineáris kapcsolatban legyen a felügyelt eseménnyel.
- Olcsó ár, megbízható üzemeltethetőség.



8.2. ábra Szenzorok elhelyezése

Szenzorok osztályozása

Az érzékelők sajátosságok szerinti osztályozására és rendszerezésére a szenzorkiválasztás és integráció megvalósítása miatt van szükség. Az alkalmazás módja szerint megkülönböztethetünk:

- ON-LINE: folyamatos érzékelés és feldolgozás lehetősége adott (pl. piezó erőmérés)
- OFF-LINE: csak szakaszos, a folyamat szüneteiben lehetséges a jellemzők mérése. (például a metszet-tapintós érdességmérés)

A mérés fizikai elve szerint:

- OPTIKAI szenzorok
  - visszavert normál fény,
  - lézer fény,
  - száloptika alkalmazása.
- ELEKTROMOS ELLENÁLLÁS,
- INDUKTÍV ÚTADÓ,
- PIEZOELEKTROMOS (piezorezisztiv, piezokapacitív),
- KAPACITÍV szenzorok,
- PNEUMATIKUS szenzorok.

A megmunkálási (érzékelt) jellemzők szerint:

- forgácsoló erő, nyomaték szenzorok,
- rezgésérzékelők,
- akusztikus emisszió szenzorok,
- hőmérséklet szenzorok,
- teljesítmény érzékelők
- szerszámkopás szenzorok,
- felületi érdességmérők.
- jelenlét érzékelők,
- méret és alakellenőrzés eszközei.

A működés módja szerint lehetnek:

- érintéssel (erőmérés),
- érintés nélkül (induktív útadók)

működő szenzorokat.

A vizsgált jellemzővel való kapcsolat alapján megkülönböztetünk:

- közvetlen (erő),
- közvetett (erő-teljesítmény)

érzékelőket.

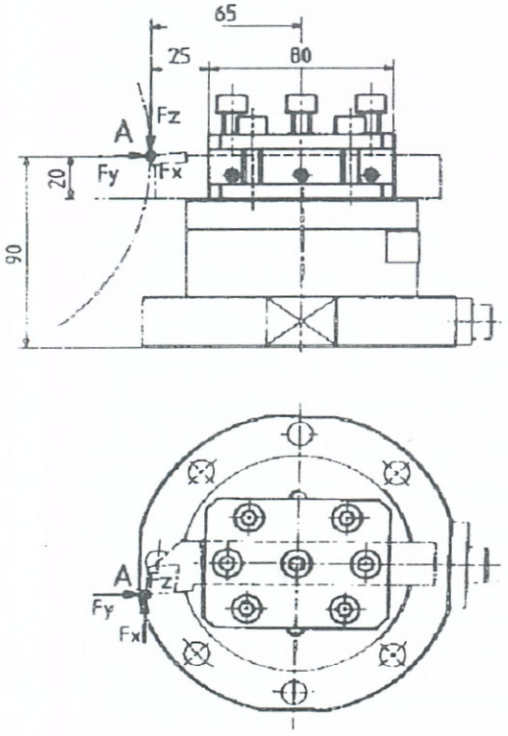
A szenzorok használhatósága szempontjából a folyamatos mérést lehetővé tevő és közvetlen szenzorjelek az optimálisak. A felügyeleti berendezések automatizálása és az

ipari megvalósíthatóság szempontjából el kell tekinteni olyan közvetlen érzékelési megoldásoktól, mint a felületi érdesség optikai vagy metszettapintós, a szerszámkopás optikai, vagy a hőmérséklet száloptikás mérése. A csak laboratóriumi alkalmazás oka éppen a mérési jelek megmunkálási folyamat közbeni folyamatos felvételének hiánya. A realizált felügyeleti rendszerekben alkalmazott szenzorok az alábbiak.

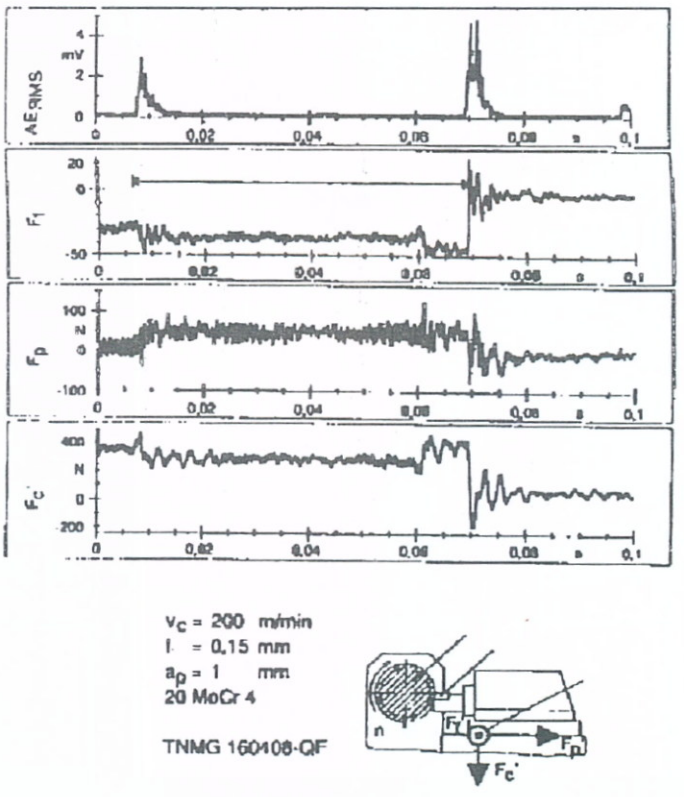
8.3. Folyamatmérési feladatok és azok felhasználása

Erő-és nyomaték mérés

A legfontosabb érzékelt jellemző a szerszám és folyamatállapot monitorizálása szempontjából. Minden erőmérésre alapozott monitoring rendszer azt az alapelvet használja fel, hogy a szerszámelhasználódás, a szerszám hirtelen meghibásodása az erőkomponensek növekedését okozza. Esztergálás, marás esetén azt mondhatjuk, hogy ez a növekedés lényegesen kisebb a főforgácsoló mint a többi erőkomponensek esetében.

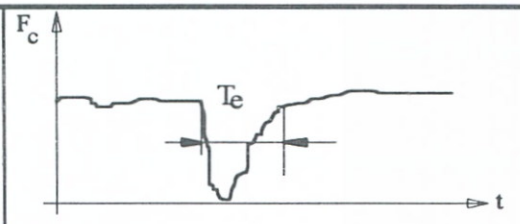
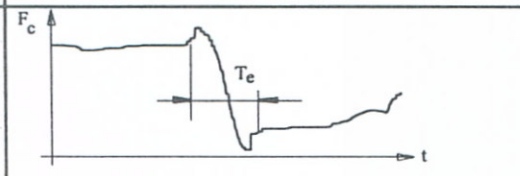
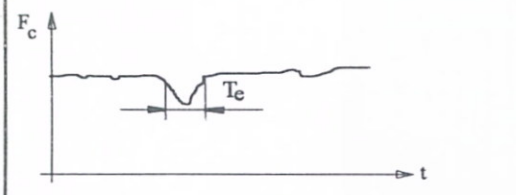
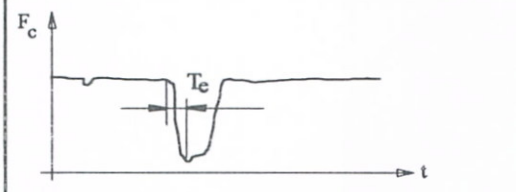
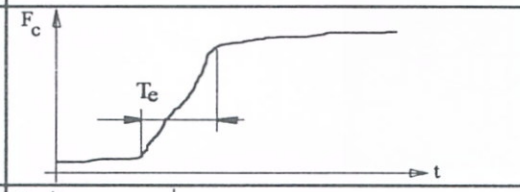
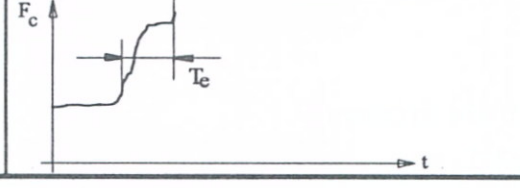


8.3. ábra Esztergálási erőmérő berendezés



8.4. ábra Szerszámtörés észlelése az erőszignálban

A szerszámtörés többnyire diszkontinuitást okoz a szenzor jelében (8.4.ábra). A kereskedelemben kapható erőszenzorok leginkább a piezoelektromos elvet használják (8.3. ábra). Pontos mérésre használhatók, merev, előterhelt eszközök ámbár meg kell említeni, hogy a statikus erőhatás esetén, a nyomás hatására bekövetkező töltésváltozáson alapuló eszközöknél kuszás, töltésveszítés lép fel. Túlterhelésre, ütközésre érzékenyek. Az erő és nyomatékmérő eszközöket a forgácstőhöz közel a rendszer merevségét nem csökkentve kell elhelyezni. A munkadarabok alá helyezhető pótasztalok, a csapágyakba vagy a szerszámtartóba szerelhető alátétek mellett egyre gyakrabban használják a forgó szerszámba épített mérőelemeket is. A mért és regisztrált erőszignál mint a 8.4 ábra mutatja magában hordozza a folyamat és szerszámállapotban bekövetkező jellemzően alacsonyfrekvenciás változásokat. A 8.2. táblázatban esztergálási szituációra jellemző néhány állapotváltozás erőszignálban felfedezhető sajátos következményeit mutatjuk be.

TELJES ÉLLETÖRÉS (A LETÖRT DARAB BESZORULÁSÁVAL)		Te =1-5 ms
TELJES ÉLLETÖRÉS (SZERSZÁMTÖRÉS A LETÖRT DARAB BESZORULÁSA NÉLKÜL)		Te =1-3 ms
ÉLKIPATTOGZÁS		Te =1-2 ms
ZÁRVÁNY AZ ANYAGBAN (LÁGY RÉSZEK)		Te =1-2 ms
BELÉPÉS (FOGÁSMÉLYSÉG VÁLTOZÁSA)		Te = f (n)
ÜTKÖZÉS, MAJD SZERSZÁMTÖRÉS		Te = f (n,u)

8.2. táblázat Erőszignál és az eseménytér kapcsolata

Teljesítmény és/vagy áramfelvétel

A műszaki kivitelezés szempontjából a legegyszerűbben megvalósítható mérőeszközökről van szó, utólagos felszerelésük is lehetséges. Az előtoló hajtások teljesítmény vagy áramfelvételének mérése azzal a hátránnyal jár, hogy a mért jelben benne van a vezetékek és a mozgató berendezés súrlódása is (súrlódási viszonyok és sebesség függőség). Ezen komponens esetenként nagyobb mint az amúgy is integrált teljesítményfelvételi jellemző. A főmotor teljesítményének mérése bár jobban felhasználható mint az előtoló motor teljesítmény vagy áramfelvétele, de a szerszámtörés felismerésére nem igazán használható. Alkalmas lehet viszont megmunkálási fokozatok (nagyolás, simítás) megkülönböztetésére.

Rezgések

A forgácsolási erő változása vezet a gépszerkezet rezgéséhez. Mint sok-sok kutatásban (publikációban) bizonyításra került, ezen rezgés megváltozik a szerszámkopás következtében. A rezgés szignál frekvencia spektrumában a kopás hatására megfigyelhető a csúcsok magasabb frekvenciatartományok irányába történő elmozdulása. A szerszámtörés hatására általában frekvencia csúcs jelenik meg a spekrumban. A rezgéseket leginkább piezoelektromos gyorsulásérzékelőkkel mérjük. A 15 kHz -ig terjedő frekvencia tartományt szokás a rezgésmérés hatáskörébe sorolni.

Akusztikus emisszió

Mint korábban bemutattuk a forgácsolási folyamat rugalmas feszültség hullámokat kelt, amelyek a szerszámgép ágyszekezetében tovaterjednek. Ezen feszültséghullámok (Akusztikus emisszio AE) legfontosabb forrásai a súrlódási jelenségek a szerszám homlok és hátfelületén; a maradó deformáció a nyírási síkban; a hőrepedések keletkezése és tovahaladása a szerszámban és a forgácstörés. A repedésképződéssel való kapcsolata miatt nyilvánvaló, hogy szerszámtöréskor magas amplitúdójú jelképződés valószínű, amely a szerszámtörés felismerése szempontjából nagyon fontos. A használt piezoelektromos szenzor érzékeny a forgácseltávolítás agresszív környezetére,ezért kísérletek történtek az AE jelek hűtőfolyadékon keresztül (buborékmentes folyadékvezetés) való érzékelésére is.

Intelligens szenzorok és megmunkálások

A szenzorok megbízhatósági szintjének növelése, az egyre szélesebb tartománybeli működés és a növekvő érzékenység megvalósítása, az intelligens megmunkálási igények kiszolgálását szolgáló fejlesztés következménye. E megmunkálásokat megvalósító intelligens megmunkáló gépek Moriwaki [6] szerint leginkább abban különböznek a hagyományos szerszámgépektől, hogy azokkal ellentétben nem előre meghatározott döntések alapján történik az irányítás, hanem azt mondhatjuk, hogy valós idejű döntések határozzák meg működésüket. Az ilyen berendezés képes felhasználni azokat a korábbi

tapasztalatokat és tudást, amely a korábban elvégzett műveletekből ered. A tanulás képessége a gyakran nagyon bizonytalan és "zajos" felügyeleti rendszer bemeneti információk viszonylatában a legfontosabb.

Az intelligens szenzorok a fentiek alapján tehát képesek az alábbiakra:

- önkalibrálás,
- jelfeldolgozás,
- döntésképesség,
- a fúzió képessége,
- a tanulás képessége.

8.4. Jelfeldolgozás, jellemző generálás, válogatás

A jelkondicionálás (elsődleges feldolgozás) célja a "nyers" analóg szenzorjelek átalakítása olyan digitális jelsorozattá, amely alkalmas a jelfeldolgozás második fokozatát jelentő jellemzőgenerálás elvégzésére. Feladatai:

- **jeltovábbítás** (zajmentes kábelek, optikai szálak felhasználásával),
- **erősítés** (töltés, feszültség) az esetenként csak néhány pikofarád vagy milivolt jelszint zavarmentes erősítése egy vagy több fokozatban.
  Lineáris erősítők ⇨ tartományváltás szükséges,
  Logaritmikus erősítők ⇨ széles tartomány, változó érzékenység.
- **szűrés**
  - aluláteresztő,
  - felüláteresztő,
  - sávszűrők.

  Alkalmazásával a nem kívánt, vagy zavaró - ismert frekvenciájú jelek eltávolíthatók
- **Jelmegjelenítés, tárolás.** Ellenőrzési, off-line feldolgozási tanulási feladatokhoz szükség lehet az érzékelők jelének analóg formában történő megjelenítésére, tárolására. (Analóg regisztrálók, mérőmagnetofon) A digitalizálás utáni tárolás mint megoldásáltalánosabb.
- **A/D átalakítás.** A folytonos jelből vett minta feszültségszintjének megfelelő digitális érték meghatározása. Többcsatornás (multisenzor) adatgyüjtés esetén csatornaváltó (multiplexer) alkalmazása szokásos. A mért jelek digitalizálásának sebességét döntően a használt eszközök képessége határozza meg.
- **Normálás**

$$\bar{y}(k) = n(k) + \sum_{i=1}^{n} a_i(k) y(k-i)$$

ahol $\bar{y}(k)$ = a modell várható értéke (jósolt érték) a k-adik időpontban
n = a normálás időintervalluma

$n(k)$ = zaj, $a_i(k)$ normálási együttható

A jósolt és a valóságos y(k) érték közötti különbség a jel normált értéke:

$$e(k) = y(k) - \hat{y}(k)$$

- **frekvencia analízis** (FT, FFT, WAVELET, stb.), amely során a mért jelsorozat egy adott hosszúságát harmonikus tagok sorozatából álló transzformált függvény együtthatóit határozzuk meg. A frekvenciatartománybeli vizsgálat elősegiti a jel energiatartalma változásának becslését is.

Jellemző generálás, válogatás

Az érzékelt, mért jelek az elsődleges feldolgozás után a folyamatok bizonytalan nem lineáris jellegéből adódóan folytonosan és véletlenszerűen változó, digitális értékek nehezen kezelhető hatalmas sorozata. Különösen a magas frekvenciájú változásokkal jellemezhető jeleknél kulcsfontosságú az információveszteség nélküli adattömörítés. A mért jelek végtelen sok jellemzője hordozhat tömörített formában információt, azonban a felügyelet szempontjából azoknak van jelentősége, amelyek szoros kapcsolatban vannak a felügyelni kívánt jellemzővel. Egy külön alfejezetben részletesen ismertetjük az alkalmazható matematikai módszereket, ezért itt csak felsorolásszerüen villantjuk fel a gyakran alkalmazott jellemzőket.

- csúcsamplitudó,
- maximális kitérés,
- egy adott jelszintet meghaladó oszcillációk száma,
- felfutás meredeksége,
- négyzetes középérték,
- adott jelszintelérések közötti időtartam,
- adott frekvencia tartomány energiatartalma stb.

A jellemzők generálásának időalapja, valamely a folyamatra jellemző időérték. (egy szerszám vagy munkadarab fordulat ideje, egy fogosztás elmozdulásának ideje stb)

8.5 Tudásreprezentációk

A tudás egy adott tématerület ismereteinek összességét jelenti. Általában több elemből tevődik össze. A problémamegoldásban játszott szerepe szerint a tudás az alábbiak szerint osztályozható:

Procedurális tudás: megadja, hogyan kell a problémát megoldani, hogyan hajtsunk végre lépéseket. Általában szabályok, eljárások, függvények segítségével történik a tudás leírása. Gyakori a lehetséges megoldások célként, vagy célok rendszerével történő megadása.

Deklaratív tudás: a problémákhoz kapcsolódó azon ismereteket írja le, amelyeknél az alkalmazásra vonatkozóan nem állnak rendelkezésre módszerek vagy összefüggések. Egyszerű logikai kifejezések, tények, valamint fogalmak, objektumok leírása tartozhat ide.

Strukturális tudás: a fogalmak, objektumok közötti kapcsolatok modelljét adja meg. A kapcsolatok leírása grafikus formában történhet, a fogalmak, objektumok pedig adatstrukturával jellemezhetők. A strukturális tudás a procedurális és a deklaratív tudás közti lehetőségként képzelhető el.

A tudásábrázolás az a technika, amely lehetővé teszi a szaktudás leírását a tudásbázisban.

Logika

A logika a legrégibb tudásábrázolási technika. Kijelentések, tények megfogalmazását teszi lehetővé, melyhez a matematikai logika két területét a kijelentés és a predikátum kalkulust használja fel.

A kijelentés kalkulus egyértelműen igaz vagy hamis kijelentéseket alkalmaz a problémák leírásánál.

A = A szerszámelhasználódás erőnövekedést okoz.

A kijelentés kalkulus az egyes kijelentések közötti relációkat műveletként értelmezi. A leggyakoribb műveletek: konjunkció, diszjunkció, negáció és implikáció (természetes nyelvi megfelelőjük az: és, vagy, nem, ha, akkor). E műveletek egy vagy több kijelentésből olyan új kifejezést képeznek, melynek logikai értéke egyértelműen igaz, vagy hamis.

Szabályok

A leggyakoribb tudásábrázolási formák a szabályok. A szabályok vagy "production rules" ellentétben a deklaratív típusu ábrázolással, már a tudás aktív használati módját is megadják. Formailag a szabály a programozási nyelvek feltételes utasításával azonos szerkezetű:

IF feltétel
THEN következmény
ELSE következmény

A szabályok segítségével talán a legegyszerűbb szakértői rendszert vagy tudásbázist létrehozni. A szabályok segítségével a tudás igen változatos típusai irhatók le:

- ajánlás leírása;
- stratégiai döntés;
- heurisztika;
- következtetés;
- utasítás leírása.

Objektum-tulajdonság-érték

Az objektum-tulajdonság-érték hármas tények megadására, rögzítésére szolgál. A logikával ellentétben az O-T-É nem alkalmas tények közötti összefüggések leírására csupán a tények ábrázolására. Az objektumok általában összetettek: többféle tulajdonság tartozhat hozzájuk és egy tulajdonságnak többféle értéke is lehet. Összetettebb ábrázolási formák általában az O-T-É hármast alapelemként használják a tudás leírására.

Szemantikus háló

A szemantikus háló irányított gráf, ahol a csomópontok az objektumokat, tulajdonságaikat, esetleg a tulajdonságok értékeit tartalmazzák, az összekötő élek pedig a csomópontok közötti relációkat fejezik ki. A szemantikus háló grafikusan ábrázolja az objektumokat és jellemzőiket. Ha a szemantikus háló egy-egy objektumát a hozzá tartozó tulajdonságokkal kiragadjuk, a korábban vizsgált O-T-É hármast kapjuk.

Frame

A frame egy olyan adatstruktura amely minden ismeretet leír az objektumról. Leggyakrabbam alkalmazott megjelenési formája a táblázat. Széleskörű alkalmazásához az objektum orientált programozás elterjedése is hozzájárult. Az adott objektumra vonatkozóan a leíráson túl a felhasználás módszerére vonatkozó tudást is tartalmaz.

8.6. Mesterséges intelligencia módszerek és alkalmazásuk

A felügyeleti tevékenység automatizálása során az egyik legfontosabb feladat, hogy a szenzorok által szolgáltatott és az előfeldolgozás során értékelhető állapotba alakított adatok és információk segítségével hogyan modellezzük a megmunkálási folyamatot, a szerszám állapotát, hogyan hozzunk döntést annak minőségéről, az abban lejátszódó eseményekről, és ez alapján milyen beavatkozás szükséges. A jelfeldolgozás ezen lépése, a másodlagos jelfeldolgozás, hatékony matematikai módszerek alkalmazását követeli meg. Az alkalmazott matematikai módszerekkel két alapvető probléma megoldására keresünk eljárásokat:

1, A mérés során gyűjtött adatok nagy mennyisége miatt a döntéshozatal, állapotbesorolás nagyon nehézkes lenne, sokáig tartana, ezért célszerű a lényeges információk kiszűrésével, kiemelésével a vizsgálandó adatmennyiséget tömöríteni, csökkenteni.

2, A megmunkálási folyamatok során föllépő események valamilyen modellezése nyomán tudjuk értékelni a folyamatban bekövetkező változásokat.

Legtöbb matematikai módszer esetében ez a két feladat keveredik, ennek ellenére ennek a két feladatnak alapján osztályozzuk az ismertetésre kerülő módszereket.

8.6.1. Az adattömörítés, lényegkiemelés módszerei

Matematikailag a lényegkiemelés során a jellemzők egy új, célszerűen kevés elemű vektorát határozzuk meg valamilyen - általában lineáris - transzformáció útján. Ez utóbbi problémája az, hogy a transzformált vektor megfeleljen egy előre meghatározott kritériumnak.
Módszereit tekintve két csoportot említhetünk:

analitikus módszerek
- a, Diagonális transzformációk
- b, Rotációs transzformációk

heurisztikus módszerek
- pl. Mahalanobis távolság

Diagonális transzformáció

A jellemzők eredetileg M dimenziós $\underline{y}$ vektorát egy diagonál mátrixszal szorozzuk:

$$\underline{x} = \underline{\underline{D}} * \underline{y}$$

Általában események osztályozásához, valamely osztályhoz tartozó variációk számának minimalizálására, dimenzió csökkentésre használják.

Rotációs transzformációk

$\underline{x} = \underline{\underline{A}} * \underline{y}$,*de itt* $\underline{\underline{A}}$, már nem diagonál mátrix. Jelentése, hogy $\underline{x}$ minta már egy új koordinátarendszerbe kerül. Példa: Fourier és Walsh-Hadamard transzformáció.

A **Mahalanobis távolság** a jellemzők közötti korrelációkat is figyelembe veszi. Definíciója:

$$D\left({}^{k}\underline{y}\right) = \left({}^{k}\underline{y} - {}^{k}\underline{m}_{y}\right)^{T} * {}^{k-1}\underline{\underline{C}}_{y} * \left({}^{k}\underline{y} - {}^{k}\underline{m}_{y}\right)$$

Ez az összefüggés szolgáltatja egy az S_k osztályba tartozó ${}^{k}\underline{y}$ minta és a középértékével $\left({}^{k}\underline{m}_{y}\right)$ és kovarianciamátrixával $\left({}^{k}\underline{\underline{C}}_{y}\right)$ leírt S_k osztály közötti távolságot. Két osztály közötti Mahalanobis távolság:

$$D(i,j) = \left({}^{i}\underline{m}_{y} - {}^{j}\underline{m}_{y}\right)^{T} * 1/2\left({}^{i}\underline{\underline{C}}_{y} + {}^{j}\underline{\underline{C}}_{y}\right)^{-1} * \left({}^{i}\underline{m}_{y} - {}^{j}\underline{m}_{y}\right)$$

A lényegkiemelés gyakorlati megvalósítása

Mindenekelőtt megjegyzendő, hogy a folytonos analóg jelek digitalizálása már jelentős mennyiségű adatvesztéssel jár. Az így rendelkezésre álló digitális adathalmaz legegyszerűbb feldolgozása, hogy bizonyos időre /például 1 fordulat idejére/ eső átlagértéket számolunk. Azoknál az eseményeknél, ahol a változások nem jelentősek vagy lassú lefolyásúak, ez a rendkívül egyszerű eljárás is célravezető (jó megoldás a kopás indirekt figyelésére), és az adattömörítés szempontjából is nagyon hatékony.

A valós folyamatokból nyert (mért) jelek hibával terheltek, sztochasztikus jellegűek. Ennek következtében a folyamatban végbemenő változások csak nehezen vagy egyáltalán nem jelennek meg közvetlenül a mért jelben. Szükség van a "zajos" jel valamilyen "szűrésére". Sok esetben elegendő ha csak a jellemző minőségi változásait tudjuk nyomonkövetni, tehát hogy növekvő, csökkenő tendenciájú. Olyan módszerre van szükség, amely a zavaró jelek változásait kiszűri, és a hosszabb idejű jellemzőváltozásokat megmutatja. Gyors és egyszerű eljárás a mozgó átlag számítása. E számítás eredménye egy állapotjellemző középérték, amire feltételezésünk szerint szuperponálódik a zaj.
Legyen y_0, y_1, ..., y_n a jellemzők egy n hosszúságú mintája. Az ebből készített Z_t, Z_{t+1}, ..., Z_n a minta mozgó átlaga:

$$Z_t = \frac{1}{h} \sum_{i=t-h}^{t} y_i \quad (ahol \quad t \geq h) \text{ diszkrét egész értékek}$$

A felírt összefüggésben egyszerű számtani középértéket használtunk a mozgó átlag meghatározására, lehetőség van azonban súlyozott átlagszámításra is. A simítást javító kiterjesztése a mozgó átlag (moving average MA) módszereknek az un. ARMA - "autoregression moving average" eljárás, ami a regressziós eljárás és az átlagszámítás kombinálásával a mért jel középvonalát határozza meg.

Ha a folyamat gyors, pillanatnyi változásait szeretnénk nyomonkövetni, elterjedt módszer a periodikusan, vagy közel periodikusan változó adatok Fourier - analízise. Ennek lényege, hogy a sok esetben rendkívül összetett változásokat több egyszerű, különböző periódusú és különböző amplitúdójú u.n harmonikus függvény lineáris kombinációjaként írjuk föl. Általában a bonyolult változások lényegének leírásához is elegendő a szinuszos tagok közül nem több mint 10, és az egyszerű szinuszos függvény mindössze 4 adattal jellemezhető. (összesen tehát 40 adat !) Ez a vizsgálat megadja számukra a változások legjellemzőbb adatait, a jellemző frekvenciákat és azok amplitúdóit.

Adattömörítésre szintén alkalmazhatók további függvénytranszformációk is pl. Walsh-Hadamard, Wavelet transzformációk, ezek matematikai megfogalmazására itt nem térünk ki. A teljesség igénye nélkül a hozott példákkal szemléltetve lezárhatjuk az adattömörítésre vonatkozó ismertetést.

8.6.2. Az események modellezésének módszerei

A folyamatok, események modellezésére szolgáló matematikai eljárásokat három nagy csoportba sorolhatjuk:

1, analitikus modellezés
2, logikai modellezés
3, strukturális modellezés

A modellezés célja mindhárom esetben közös, az adatgyűjtés és tömörítés nyomán nyert információkból, mint inputból egy a folyamat minősítésére alkalmas output értéket szolgáltatni:

A folyamat modellezése során a folyamat változásai és az ebből következő állapotjellemző változások közötti matematikai kapcsolatot keressük. E kapcsolat kiderítése történhet:

a, a folyamat elméleti (matematikai, mechanikai, kémiai ...) analízise, (modellezése) segítségével,
b, kísérleti tapasztalatok szabályokba rögzítésével

Célravezető a kettő kombinációja.

Analitikus modellezés

Egy adott állapot (esemény) analitikus vagyis matematikai egyenlettel (determinisztikus, sztochasztikus) történő leírására a forgácsoló megmunkálás modellezésére használt hatványkitevős egyenletek szolgáltathatnak példát. Legyen az állapot a szerszám kopása, ekkor az analitikus modell:

$$\Delta = C_{\Delta} \cdot f^{x_{\Delta}} \cdot a^{y_{\Delta}} \cdot v^{z_{\Delta}} \cdot t^{\mu_{\Delta}}$$ (lásd a 6. fejezetben)

Bemenő adatként az előtolás, a fogásmélység, a sebesség átlagos értékét, valamint az eltett megmunkálási időt használjuk, és eredményként a pillanatnyi kopás értéket kaphatjuk. A modellt szokás empírikus képletnek is nevezni, mivel a konstans és a kitevők meghatározása mérési adatok regresszió analízisével lehetséges.

Előnye: egyszerű megvalósítás, gyors számítás.

Hátránya: Az analitikus modelljeink nagyon pontatlanok, sokszor közelítésnek is alkalmatlanok. Történtek próbálkozások pontosabb, egyben bonyolultabb modellek készítésére is, de ilyenkor a feldolgozási idő jelentősen megnő.

Logikai modellezés

a, Hagyományos logika alkalmazásával.

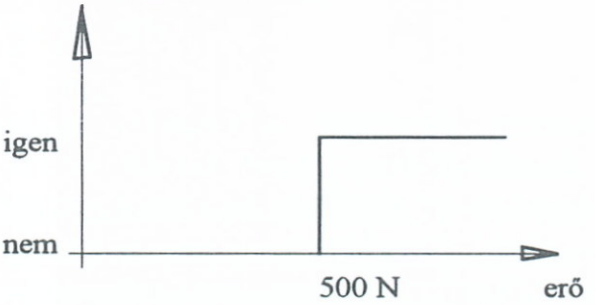
A megmunkálási folyamatok során összegyűlt emberi tapasztalatok egyszerű logikai szabályokba tömörítve. Maradjunk a kopási eseménynél példaként.

Szabály:

HA NAGY AZ ERŐ AKKOR KOPOTT A SZERSZÁM.

Bemenet: **ERŐ : NAGY**
NEM NAGY

Kimenet: **SZERSZÁM : KOPOTT**
NEM KOPOTT



8.5. ábra Erőváltozás logikai függvénye

Természetesen több bemenet, esetleg több kimenet is alkalmazható a hagyományos logikai relációk (és , vagy) segítségével.

Pl.: HA NAGY AZ ERŐ ÉS VAN SORJA AKKOR KOPOTT A SZERSZÁM.

Előnye: Egyszerűség, mindenki számára érthető szabályok, gyorsaság.

Hátránya: A folyamatok nem írhatók le ilyen egyszerűen, nagy a hibaszázalék, és nincs mindenre szabály.

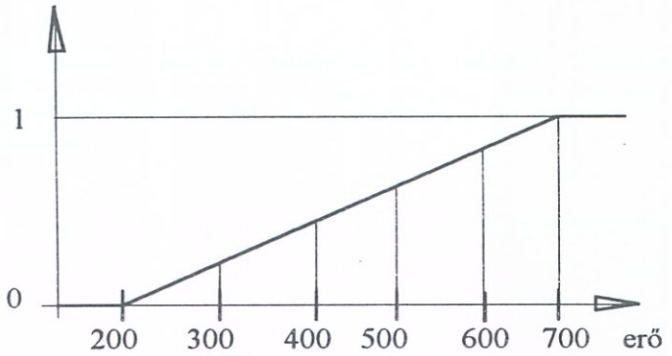
b, Fuzzy logika

A Fuzzy Logika a hagyományos logikától eltérően nem az egyértelműen igaz vagy hamis állapotok közötti kapcsolatot írja le, hanem az un. fuzzy változók halmazai között teremt kapcsolatot. Az előző példánál maradva a logikai kapcsolat legyen továbbra is

HA AZ ERŐ NAGY AKKOR A SZERSZÁM KOPOTT.

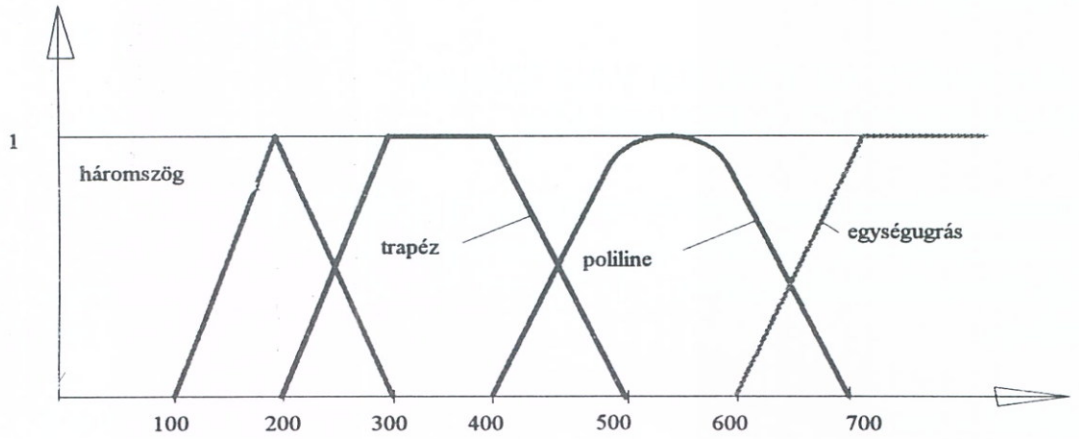
Az **ERŐ** fuzzy változóként értelmezve már több állapotot is fölvehet (nagyon kicsi, kicsi, közepes, nagy, nagyon nagy). A változó logikai értékét az un. tagsági függvények segítségével határozhatjuk meg, választhatjuk szét. Például a **NAGY ERŐ** tagsági függvénye a 8.6. ábrán látható módon szemlélhető, és értelmezése szerint a 700 N fölötti erők valamennyien teljes mértékben beletartoznak a **NAGY ERŐ** fuzzy halmazába. 200-700 N között is tagja lesz a változó ennek a halmaznak, de csak kisebb mértékben, a 0-1 közötti un. tagsági érték nagysága határozza meg a beletartozás mértékét. 200 N alatt már egyáltalán nem tagja a **NAGY ERŐ** halmazának az **ERŐ** változó. Matematikailag

tehát a **NAGY ERŐ** fuzzy halmaz elempárokból áll, amelyet a halmazhoz tartozó mennyiség és annak tagsági értéke alkot:



8.6. ábra Nagy Erő Fuzzy tagsági függvénye

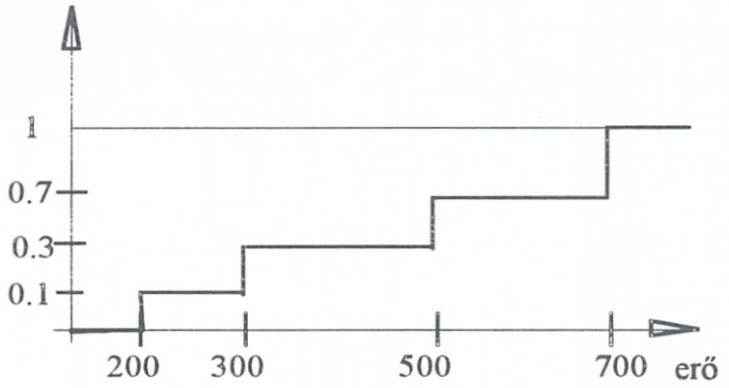
ahol **X** az **ERŐ** fuzzy változó értelmezési tartománya, **A** pedig a **NAGY ERŐ** fuzzy halmaz. Hasonlóan találhatunk tagsági függvény meghatározásokat a kicsi, közepes stb. halmazok definiálásához is. A leggyakrabban használatos tagsági függvényeket szemlélteti a 8.7. ábra.



8.7. ábra Jellegzetes Fuzzy tagsági függvénytípusok

Fontos kiemelni a tagsági érték és a valószínűség közötti alapvető különbséget. Az például, hogy az 500N erő 0,6 tagsági értékkel rendelkezik azt jelenti, hogy ugyan minden esetben eleme a halmaznak, de csak 60% mértékben teljesíti a beletartozás követelményeit. Ezzel szemben a 60% valószínűség értelmezése, hogy az esetek 60%-ában eleme, a további 40%-ban pedig nem eleme a halmaznak, és nem tudjuk előre, hogy mely esetben eleme, és mikor nem az.

A feltétel(eke)t és következményt egyaránt fuzzy változóként kezelve már árnyaltabb következtetéseket kaphatunk, például eredményként jöhet az is, (a példánkban) hogy csak 0,6 mértékben tartozik a szerszám a kapottak közé, vagyis feltehetően még használható, de már látszik rajta a kopásnyom. A 8.8. ábra a következtetés geometriai szemléltetését mutatja.



8.8. ábra Fuzzy következtetés geometriai szemléltetése

A fuzzy változók között a különböző lehetséges állapotok nagyobb száma következtében több kapcsolat is megfogalmazható, ezeket hívjuk **fuzzy szabályoknak**. Ezek a szabályok a változók különböző állapotaihoz a következmény különböző szintjeit, tehát különböző kimeneteket rendelhetnek, így az eseményteret teljes egészében lefedik. A fuzzy szabályokban megfogalmazott relációkat (és, vagy) valamint a következtetést megvalósító matematikai eszköztárat az itt nem részletezett Fuzzy Algebra írja le.

Előnye: Mindenki számára érthető nyelvi változókkal írja föl a szabályokat. Könnyű a korábbi emberi tapasztalatok integrálása. Árnyaltabban írhatók le a folyamatot minősítő jellemzők és események. Viszonylag egyszerű és gyors.

Hátránya: A logikai változók fuzzy osztályba sorolása nehéz és sokszor megkérdőjelezhető.

Alkalmazása:

A mesterséges intelligencia módszerek közül a leginkább kiforrottnak, hétköznapi használatban is megtalálhatónak csak a fuzzy vezérléseket tekinthetjük, ezért külön is megemlítünk néhány alkalmazást. A legelső sorozatban gyártott fuzzy vezérlés az AISAI cég automata mosógéphez kötődik. A ruha súlyának megmérése után egy adott mennyiségű vizet és mosószert adagol. Ezzel mosva optikai szenzor figyeli a víz zavarosságát, ebből a szennyeződés fokára és fajtájára következtet. Fuzzy következtetési szabályok alapján fogja ezután kiválasztani a legjobb mosóprogramot. Az idő és energiamegtakarítás mellett az is nagy előnye, hogy egyetlen gomb elegendő beindításához.

Magyarországon is egyre többen ismerik a képstabilizátorral (Electronic Image Stabilizer) ellátott videokamerákat. Ezek "kiveszik" a felvételből a kéz remegését. Működésének alapelve, hogy időről időre összehasonlítja a képet egy korábbival, és a remegés mértékétől függően lecsökkenő közös (hasonló) képrészletet tekinti megfelelőnek, ezt fogja felnagyítani az állókép méretére. Ez a nagyítás észrevehetetlen, a film élvezhetősége viszont jelentősen javul, az amatőr filmezést nagyon megkönnyíti.

Probléma csak akkor van, ha a képen levő tárgyak, emberek vagy állatok egymáshoz képest mozognak. Ilyenkor felül kell vizsgálni, hogy a kép elmozdulását ki kell-e szűrni, és egyáltalán melyik képrészhez képest. Ezt a döntést egy fuzzy chip végzi. Kettő az alkalmazott szabályok közül álljon itt példaként

- Ha a mozgásvektorok **különböző irányúak** és különbségük **növekszik,** akkor egy mozgó tárgy van a képen.
- Ha a mozgásvektorok **egyformák**, és különbségük **kicsi,** akkor a mozgást a kéz remegése okozta.

Strukturális modellezés

Ebben az esetben nem keresünk matematikai, logikai összefüggést a bemenetek és a kimenet között, hanem a feldolgozó rendszer struktúrájának felépítéséből következik a modell. Klasszikus példája a Neurális Hálózatok módszere. A módszer biológiai analógiából indul ki, az emberi agy struktúráját próbálja elektronikai eszközökkel modellezni. Az agysejtek helyére processzorokat, az őket összekötő idegvezetékek helyére vezetőket helyettesítve létrehoz egy - az agyénál természetesen sokkal egyszerűbb - struktúrát, hálót.

Neurális hálózatok módszere

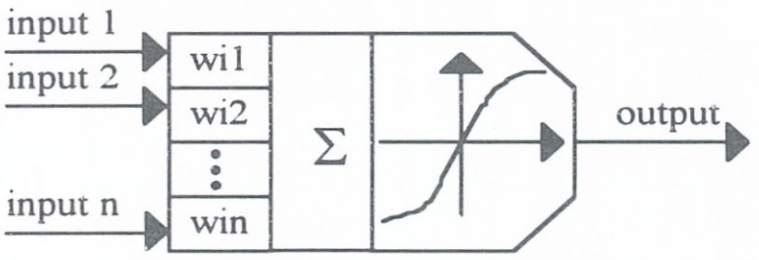
Az emberi agy fantasztikus gyorsasággal képes feldolgozni az érzékszerveinkből érkező, olykor nagyon zajos, zavaros jeleket is (például kiszűri a beszédet a környező zajból, különböző fényviszonyok mellett is nagy biztonsággal ismeri fel a tárgyakat). A legkülönlegesebb képessége pedig, hogy egy tanulási folyamat segítségével javítani tudja saját jelfeldolgozó képességét, sőt teljesen új feladat megoldására is képes.

A jelfeldolgozással foglalkozó szakemberek álma egy ilyen feldolgozó rendszer; és számos próbálkozás történik az emberi agyhoz hasonló struktúrák és működését utánozó rendszerek kifejlesztésére. Az egyik ilyen próbálkozás eredményezte a neurális hálózatok módszerét.

Az emberi agy idegsejtjei számtalan dendriten keresztül kapcsolódnak egymáshoz, a környezettől, a többi idegsejttől pedig un. axonokon keresztül jutnak információkhoz. A struktúra pontos felépítését és működését még nem sikerült megfejteni, ám ez adta az ötletet.

Helyettesítsük az idegsejteket processzorokkal, kössük őket össze valamilyen módon vezetőkkel, és egyszerű matematikai összefüggésekkel tegyük képessé önmaga beszabályozására → a tanulásra.

Az idegsejteket helyettesítő processzorok, neuronok nagyon egyszerű működésűek, a bemeneten érkező jelet egy súlytényezővel megszorozzák, ezen súlyozott bemeneteket összeadják, majd egy átalakító függvény segítségével kiszámítják a kimeneti jel szintjét. (8.9. ábra) Az ábra mutatja a neuron funkcióit és példát mutat egy jellegzetes átalakító függvényre.



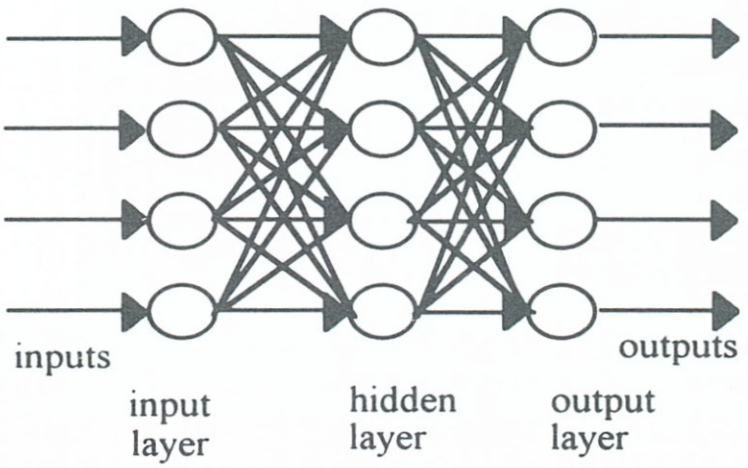
8.9. ábra Egy neuron átalakító függvénye

A neuronok hálózata három processzorcsoportból áll. (8.10. ábra) Az első a bemeneti réteg, amelyben a bemenő jelek számával megegyező processzor található, a második a "rejtett" réteg, végül a kimeneti réteg következik, ahol a processzorok száma megegyezik a kívánt kimenetek számával. Ezek a rétegek az összes lehetséges módon kapcsolatban vannak egymással, de a rétegeken belül nem lehet kapcsolat a neuronok között.

Az így felépülő struktúra egyik lehetséges tanulási modellje az un. backpropagation (visszacsatolásos) algoritmus. Ez az algoritmus egy iterációs eljárás segítségével adott bemeneti jelhez tartozó ismert kimenetre meghatározza azokat a súlytényezőket, amelyekkel a neurális hálózat az adott bemenetre az ismert kimeneti jelet szolgáltatja. Az algoritmus matematikai leírása a következő. Ha y_i az előző réteg i. egységének aktivitási szintje, x_j az adott réteg j. processzorának az eredő súlyozott bemenete, w_{ij} pedig az i. és j. egység közötti súlytényező, akkor

$$x_j = \sum_i y_i w_{ij}$$

Az adott réteg kimeneti (aktivitási) szintjét a választott átalakító függvény ebből a bemeneti x_j értékből számítja, például



8.10. ábra Neurális háló

$$y_j = \frac{1}{1+e^{-x_j}}$$

az igen gyakran alkalmazott szigmoid függvénnyel fölírva. A fenti eljárással az összes kimeneti egység aktivitását kiszámíthatjuk, és meghatározhatjuk az adott kimeneti érték és a számított értékek közötti eltérést, a hibát.

$$E = \frac{1}{2}\sum_j (y_j - d_j)^2$$

ahol d_j a j. egység várt kimeneti értéke.

Ennek a matematikai leírásnak az alkalmazásával a visszacsatolásos algoritmus a következő négy lépésben foglalható össze.

1. Kiszámítja,hogy a kimeneti egység aktivitásának változásával milyen mértékben változik a hiba:

$$\Delta E_j = \frac{\partial E}{\partial y_j} = y_j - d_j$$

2. Kiszámítja a hiba változását az eredő bemeneti jel függvényében:

$$\Delta EB_j = \frac{\partial E}{\partial x_j} = \frac{\partial E}{\partial y_j}\frac{\partial y_j}{\partial x_j} = \Delta E_j y_j (1 - y_j)$$

3. Kiszámítja a hiba változását a kimeneti egység valamelyik kapcsolatához rendelt súlytényező függvényében:

$$\Delta ES_{ij} = \frac{\partial E}{\partial w_{ij}} = \frac{\partial E}{\partial x_j}\frac{\partial x_j}{\partial w_{ij}} = \Delta EB_j y_j$$

4. Végül kiszámítja a hiba változását az előző réteg valamely egysége aktivitásának módosulásával. Ez a lépés teremti meg a kapcsolatot a rétegek között, és ennek a segítségével fejthetők vissza a többrétegű hálózatok.

$$\Delta E_i = \frac{\partial E}{\partial y_i} = \sum_j \frac{\partial E}{\partial x_j}\frac{\partial x_j}{\partial y_i} = \sum_j \Delta EB_j w_{ij}$$

Tehát a 2. és 4. lépés segítségével valamennyi réteget visszafejtve meghatározható a hiba változása a kimenetre, ezután a 2. és 3. lépések alkalmazásával számítható a súlytényezők változása. Ezzel korrigálva a kezdeti súlytényezőket az eljárást a kimenet eltérésének eltűnéséig folytatjuk.

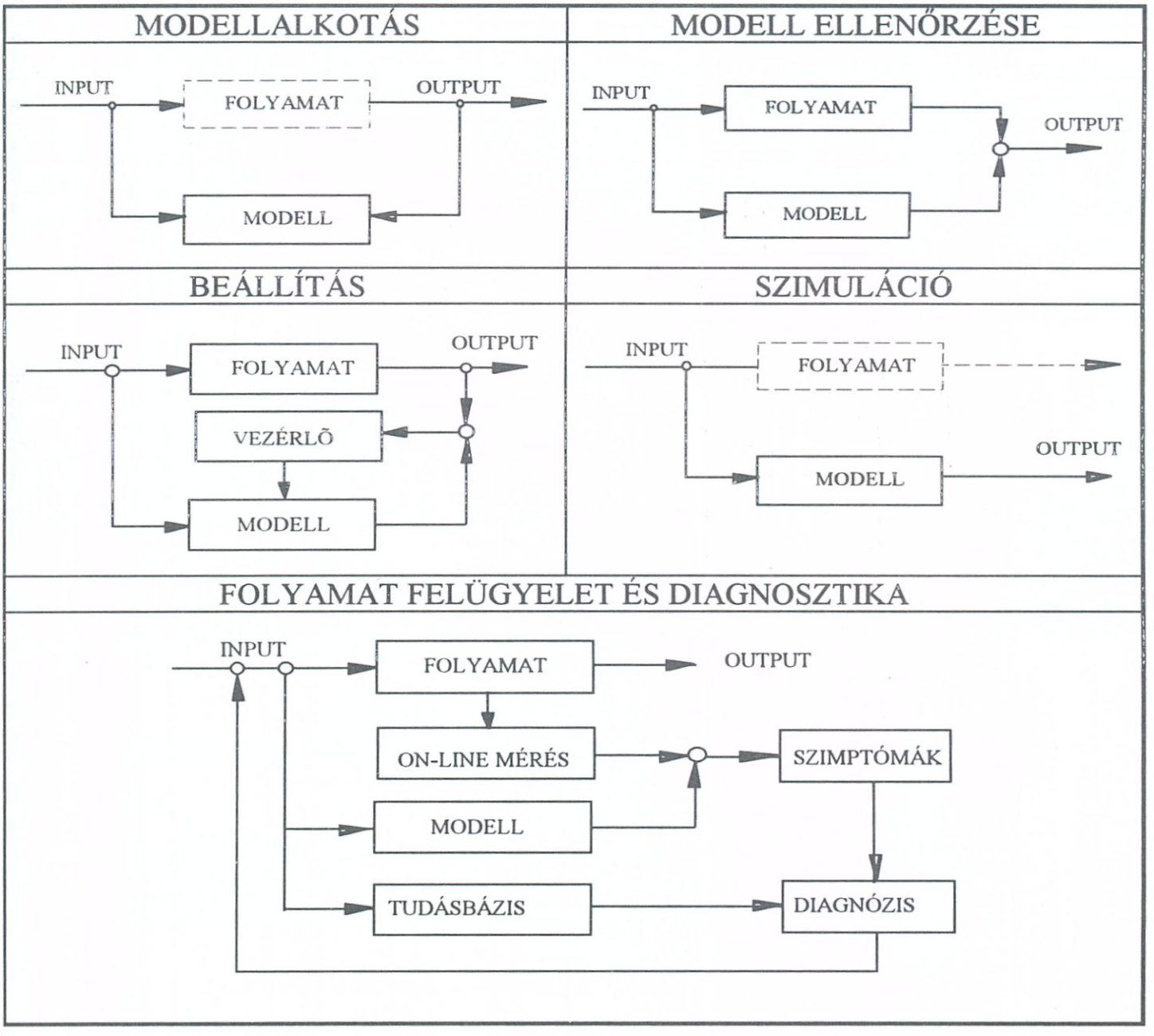
A fenti eljárást a neurális hálózat betanításának nevezzük. Ezt a betanítást a bemeneti és kimeneti jelek több módosulatával is meg lehet ismételni, ilyenkor a hálózat a valóságos

jelek zavarásaival tanulja meg a (sulyok beállítása) folyamatot, és az alkalmazáskor ezeket is felismeri, azaz elfogadja vagy elveti.

8.7. Felügyeleti rendszerek

A **modell**: a fizikai folyamatok olyan elvont, absztrakt reprezentációja, amely az okok és a következmények, hatások összekapcsolására szolgál, mint definiáltuk korábban. A modellek felhasználásának területei a tervezés és a müködési szimuláció.

Szimuláció: A folyamatok dinamikus nyomonkövetése diszkrét időértékek mellett a folyamat elvont modelljére alapozva.



8.3. táblázat Modellek, szimuláció és felügyelet

Beavatkozási stratégiák

A felügyelet legkényesebb része, hogy valamilyen elfajulás esetén hogyan avatkozzon be a folyamatba. Az emberi intelligencia számára is bonyolult döntés, hogy az elfajulás észlelése után engedje e folytatódni a megmunkálást a művelet végéig vagy azonnal avatkozzék be. Ha a beavatkozást választja, akkor dönthet a folyamat korrekciója vagy a teljes leállítás mellett, ami után a technológus utasítása alapján indítják újra a megmunkálást. Ezen döntés biztonságos, de gazdaságilag nem mindig engedhető meg. Másik lehetséges beavatkozás a szerszám elhasználódása esetén a szerszámcsere. Ennek veszélye abban rejlik, hogy a még használható szerszámok cseréje a szerszámköltség megnövekedését eredményezi. Ésszerű kockázatvállalás nélkül nincs használható felügyelet. A kockázavállaláson alapuló döntés megköveteli a megmunkálási körülmények teljes körü ismeretét.

Az 5. fejezetben ismertetésre került az adaptív szabályozás, amelyet a monitoring rendszerek on-line beavatkozási stratégiájának tekinthetünk. Ez azt jelenti, hogy mielött a szerszámcsere igénye felmerülhetne és a leállásra szükség lenne beavatkozunk a folyamatba. Ekkor a folyamatparaméterek megváltoztatására kerül sor abból a célból, hogy valamely esemény bekövetkezését (túlterhelés ....) elkerüljük. Minden ilyen beavatkozásnál tudomásul veszük, hogy az eredendően valamely cél szempontjából optimális beállítási adatokat megváltoztatjuk.

A felügyelet előnyei és problémái

Az automatikus felügyelet megvalósításával a minőségmegörző funkciók előtérbe kerülnek. Lehetővé válik a drága gépészeti berendezések többműszakos, hétvégi üzemeltetése. A felügyeleti rendszer valamint annak kifejlesztés drága, költség és időigényes. A felügyelettel ellátott gépek üzemeltetése is drágul. E költségnövekedést ellensulyozhatja, hogy a tanulás révén és segítségével összegyüjtött információk további felhasználásra kerülhetnek.

Fejlesztési feladatok:

- A felügyeleti rendszer reagálási idejének csökkentése, az adatfeldolgozás sebességének növelése.
- Müködési biztonság és megbizhatóság fokozása.
- Integrálódás a gyártó rendszerbe, annak megváltoztatása nélkül..
- Alacsony installálási költségek.
- Egyszerü utólagos illeszthetőség.
- Felhasználóbarát üzemeltetés, minimális beállítási, karbantartási igény.
- Kis helyigény, a mikróelektronikai alkatrészek miniatürizálása.
- Hibrid (analog, digitális,) rendszerelemek együttes alkalmazása.
- Olcsó rendszerelemek fejlesztése.

Felhasznált irodalom:

1. Markos, S.; Szalay, T.; Szöllősi, G.; Raifu, A. W.: *Monitoring of Milling Processes Based on Artificial Intelligence*,
   Mechatronics, Pergamon Press, Vol. 3, 1993, No. 2, pp. 231-240
2. Zhu, J. Y.; Shumshreduddin, A. A.; Bollinger, J. G.: *Control of Machine Tools Using the Fuzzy Control Technique*,
   Annals of the CIRP, Vol. 31/1, 1982, pp. 347-352
3. Monostori, L.; Barschdorff, D.: *Artificial neural networks in intelligent manufacturing*, Robotics and Computer-Integrated
   Manufacturing, Pergamon Press, Vol. 9, 1992, No. 6, pp. 421-437
4. Szalay, T.; Nagy, Z.: *Increasing the Intelligence of Industrial Robots Using Sensors*,
   24. Int. Symposium on Industrial Robots,
   Tokyo, Nov. 4-6,1993, pp. 153-160
5. Goofrey E. Hinten : Hogyan tanulnak az idegi hálózatok?
   Tudomány 1992. November
6. G.Byrne, D. Dornfeld...: Tool Condition Monitoring (TCM) - The Status of Research and Industrial Application, Annales of the CIRP Vol. 44/2/1995

9. ALKATRÉSZGYÁRTÁS ÉS SZERELÉS

A gépipari gyártás részfolyamatai az **előgyártás**, az **alkatrészgyártás** és a **szerelés.**
A gyártás tervezése felülről-lefelé haladva a hierarchiában öt szintre bontható: **előtervezés, műveleti sorrendtervezés, műveletttervezés, műveletelemek tervezése, és utófeldolgozás**. Ezekről részletesebben a 10. fejezetben lesz szó.
Ez a fejezet az alkatrészgyártással és a szereléssel foglalkozik.

A technológiai folyamatok tervezéséhez kiinduló adatokra, műszaki, gazdasági és tervezési információkra van szükség.

Műszaki információknak tekintjük a gyártmány teljes dokumentációját, a gyártórendszerek műszaki adatait, anyagok jellemzőit stb.

Gazdasági információk: a gyártandó darabszám, a gyártási határidők, szabad kapacitások, a normatív jellegű idő- és költségadatok, a munkaerő minősége stb.

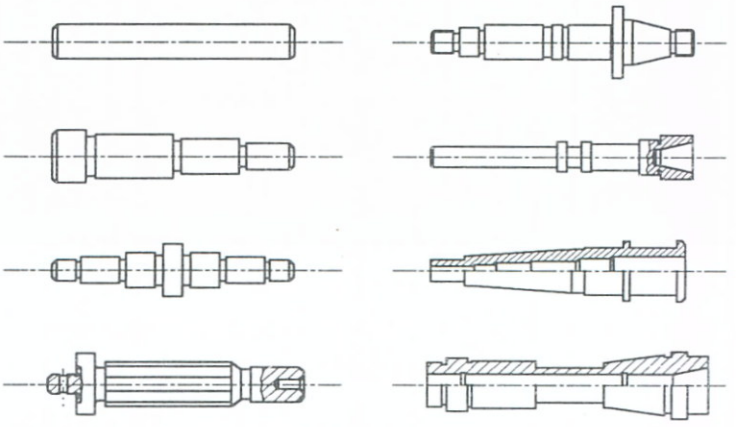
A technológiai tervek kidolgozásának lépései:

- meghatározzák a **gyártás típusát,** és koncepcióját az ütem-, vagy a tételnagyság előzetes kiszámításával;
- megválasztják az előgyártmányt és az előgyártás technológiáját;
- összeállítják a műveleti **sorrendtervet,** a bázisfelületek, **a technológiai műveletek és a műveletelemek sorrendjének** és tartalmának megoldásával minden részfolyamatára;
- meghatározzák a szükséges **gépi berendezéseket és gyártóeszközöket** (készülékek, szerszámok, mérőeszközök);
- megállapítják a **technológiai adatokat** és műveletenként az **időnormát**;
- meghatározzák a szerszámok mozgásterveit;
- elkészítik a **technológiai dokumentációt**;

A technológiai folyamatok kidolgozásának mélységi foka főleg a gyártás típusától függ. Tömeggyártáshoz a folyamatokat részletesen megtervezik a gyártmány minden alkatrészére. Egyedi gyártásban megelégednek rövidített kidolgozással, mert ilyen gyártási feltételek mellett a részletes kidolgozás nem gazdaságos.

9.1. Alkatrészgyártás

9.1.1. Tengelyszerű alkatrészek gyártása



9.1. ábra. Tengelyek

Az alkatrészgyártás a gyártmány alkatrészeit szerelésre kész állapotba hozza.

A tengelyek gyártási technológiáját a következők határozzák meg: a tengely alakja, mérete és *l/d* viszonya, az előgyártmány fajtája és anyaga, a tengely előírt pontossága és a gyártandó darabszám. A gyártás szempontjából a tengelyek alakja négy alaptípusba sorolható: sima, egyoldali lépcsős, kétoldali lépcsős és furatos csőtengelyek. (9.1 ábra). Mérete szerint kisméretű *(d < 60; l< 150)*, közepes méretű *(60 < d < 160; l< 800)* és nagyméretű tengelyek *(d > 160; l > 800)*. Méretviszony szerint *l/d <6* merev, *6 < l/d < 12* közepes és *l/d > 12* kis merevségű tengelyek *(d-átmérő; l-hossz, mm)*

Az előgyártmány fajtája függ a tengely alakjától, méreteitől és a gyártandó darabszámtól.

Tömeg- és nagysorozatgyártásban a tengelyek előgyártmányait zárt süllyesztékben kovácsolják vagy sajtológépeken sajtolják, majd sorjázzák. Lépcsőstengelyek előgyártmányait rotációs kovácsológépeken és keresztirányú hengerléssel is gyártják. Nem nagy lépcsőátmérő különbségű lépcsőstengelyek gyártása melegen hengerelt acélból is szokásos. Sima tengelyek gyártásához előgyártmányként leggyakrabban húzott anyagot használnak. Egyedi és kissorozat gyártásban a tengelyek előgyártmányait szabadkovácsolással állítják elő, vagy melegen hengerelt anyagot használnak fel. Kovácsolt nyersdarabok kiindulási anyagául hengerelt köracél szolgál. Nagyméretű tengelyek előgyártmányait szabadkovácsolással öntecsekből készítik.

A tengelyek megmunkálási pontosságát az átmérőkre előírt tűrésminőségekkel jellemzik. Ez alapján megkülönböztetünk különlegesen pontos (IT5-IT6) nagy pontosságú (IT6-IT7) normál pontosságú (IT8-IT9) és kis pontosságú (IT10-IT11) tengelyeket.

Az előírt vagy szükséges hőkezeléseket céljuknak megfelelően iktatjuk be. Így a megmunkálás előtt a lágyítás, a normalizálás a megmunkálhatóságot javítja, nagyoló és simító megmunkálás közötti feszültségmentesítés és nemesítés-edzés a szövetszerkezet finomítását, és a keménység és a szilárdság növelését célozza.

A gyártandó darabszám az előgyártmány fajtáját, a gépek jellegét, a felszerszámozást, a készülékezés fokát és a technológiai tervezés mélységét befolyásolja.

Egy 150 mm-nél hosszabb lépcsőstengely típus szokásos műveleti sorrendje:

1. Darabolás
2. Oldalazás, központfúrás
3. Hengeres felületek nagyolása
4. Hengeres felületek simítása

5. Reteszhornyok marása
6. Bordák marása
7. Keresztirányú furatok fúrása
8. Menetvágás
9. Hőkezelés
10. Köszörülés
11. Végellenőrzés

Tengelyek nagyoló és simító esztergálását nagysorozat- és tömeggyártásban, többorsós függőleges félautomata esztergákon, többkéses automatákon, valamint hidraulikus másoló félautomata esztergákon végzik. Közepes - és kissorozat gyártásban ehhez a megmunkáláshoz hidraulikus másoló félautomata esztergákat, hidraulikus másolószánnal ellátott esztergákat, valamint NC esztergákat alkalmaznak. A kúpos vagy egyéb alakos részeket egyedi- és kissorozatgyártásban másolóberendezéssel vagy NC esztergán, nagysorozat- és tömeggyártásban a hengeres részekkel együtt másoló esztergákon munkálják meg.

Reteszhornyokat függőleges horonymaró-gépen ujjmaróval, vagy hosszlyukmaróval, vízszintes marógépen tárcsamaróval munkálnak meg a horony szerkezetétől függően. Tömeggyártásban ezt a műveletet gyakran több-szerszámhelyes készülékben végzik. Ebben az esetben a szerszámokat többorsós marófejbe fogják be, a tárcsamarókat pedig közös marótengelyre húzzák fel.

A tengelyek bordás felületeit bordamarógépen munkálják meg lefejtőmaróval. A tengelyt merev csúcsok közé fogják be.

A keresztfuratokat egy-, vagy többorsós fúrógépen munkálják meg. Az alkalmazott gép típusa és a befogás módja a tengely szerkezetétől és a furatok elhelyezkedésétől függ.

Edzett tengelycsapokon a csavarmenetet edzés előtt készítik el, nem edzhető tengelyeken pedig a végleges köszörülés után. Tömeg- és nagysorozatgyártásban a menetes tengelyek megmunkálásához menetesztergáló félautomatát alkalmaznak. Sorozat- és kissorozat gyártásban a csavarmeneteket csavarmenetvágó esztergákon a szokványos módon vagy az örvénylő menetvágás módszerével vágják.

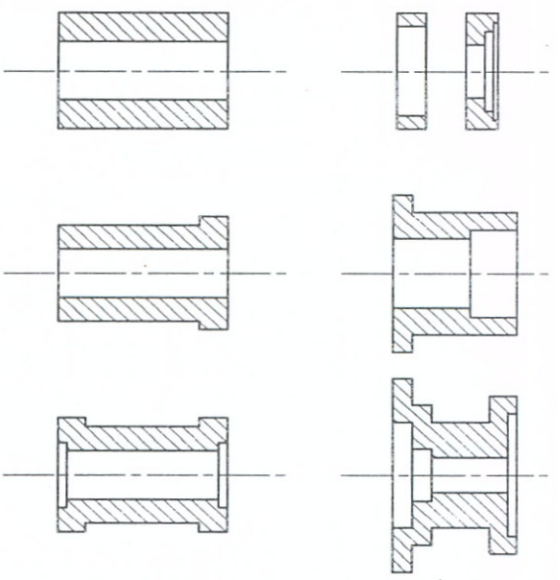
Az NC esztergaközpontokon az esztergálási műveletelemek mellett az egyszerűbb marási feladatok megoldása és a keresztfuratok készítése egy műveletben végezhető el.

Tengelycsapok köszörülését rendszerint két műveletben végzik: külön nagyoló illetve simító köszörüléssel körköszörűgépen hosszelőtolással, vagy keresztirányú beszúrással, csúcsok közé fogva .

9.1.2. Tárcsaszerű alkatrészek gyártása

Tárcsaszerű alkatrészek külső és belső hengerpalást felületekkel és az ezekre merőleges homloklapokkal határolt rövid alkatrészek (9.2 ábra). Alaki sajátságaikra jellemző a külső D és a furatátmérő d nagysága, a hosszméret L, továbbá a furathossz l, valamint a külső átmérő és a furatátmérő viszonya. A külső átmérő és a hosszméret legtöbbször 60 és 300 mm között van. Öntött, kovácsolt, sajtolt, hengerelt előgyártmányokat egyaránt

alkalmaznak. Az L/D viszony 1/2-nél kisebb értékei esetében tárcsának, 1/2 ~ 2 közötti értékeinél agynak, 2 ~ 3 közötti értéknél hüvelynek nevezzük. A megmunkálás és a fel-fogás szempontjából lényeges méret a d furatátmérő és a furatátmérőnek a külső D át-mérőhöz való viszonya. Kis furatátmérő és nagy D/d viszony a tüskén való felfogás és a megmunkálás szempontjából kedvezőtlen. Tárcsa-szerű alkatrésznél a pontosságra vonatkozó értékek megegyeznek a tengelymunkákkal kapcsolatban említett értékekkel. Az átmérők és a hosszméretek pontosságán kívül tárcsaszerű alkatrészeknél a felületek kölcsönös elhelyezkedésének pontossága fokozottan előtérbe kerül. A kölcsönös elhelyezkedés pontosságának legfőbb biztosítéka a követelményeket kielégítő technológiai bázisok alkalmazása.

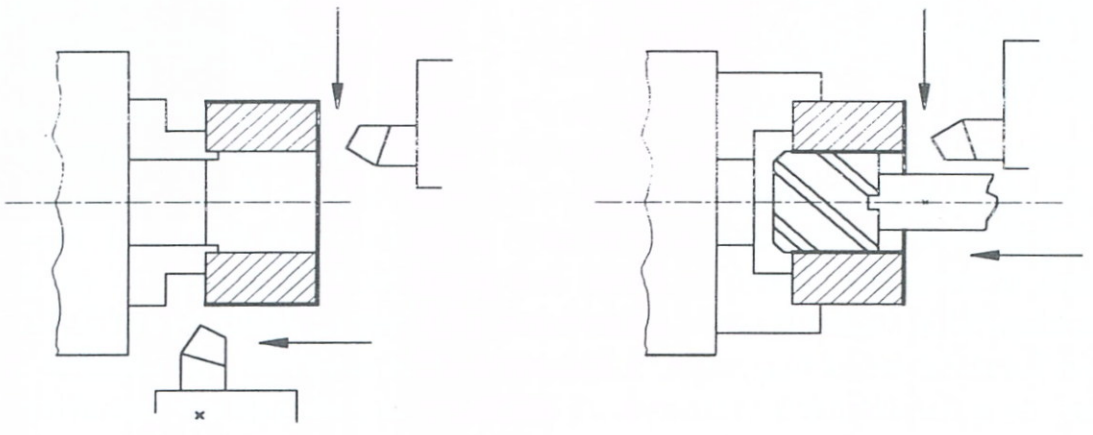


9.2. ábra. Tárcsaszerű alkatrészek

Tárcsaszerű alkatrészeken a méretpontosságon és alakhűségen kívül biztosítani kell a külső és belső felületek egytengelyűségét, valamint a homlokfelü-letek merőlegességét a tengelyvonalra. Ez azzal ér-hető el biztosan ha, a külső és a belső átmérőt egy felfogásban munkálják meg. Célravezető módszer az is, ha előbb a furatot munkálják meg, majd a darabot tüskére fogva a külső és a hom-lokfelületet egyszerre esztergáljuk. Ha $l > d$ a felfogótüske egyszerű esztergatüske lehet, amelyre rászorítjuk a darabot, ha pedig $l < d$ a darabot peremes tüskére kell szorítani. Szokásos olyan technológia alkalmazása melynél előbb a külső hengeres felületet és az egyik homlokfelületet esztergálják meg, majd a külső homlokfelületen megfogva a dara-bot megmunkálják a furatot és a másik homlokfelületet. Ezt a módszert kell alkalmazni, ha $l < d$ és nem használhatunk peremes esztergatüskét a felfogáshoz (9.3.ábra).

Példaként megadjuk a $D < 60$ *mm* külső átmérőjű hengerelt vagy húzott rúdból készült tárcsák illetve hüvelyek műveleti sorrendjét:

1. Egyik oldal megmunkálása
2. Másik oldal megmunkálása
3. Furat üregelése



a, b,

9.3. ábra. Tárcsa megmunkálása

4. Hornyok üregelése.
5. Hőkezelés
6. Furatköszörülés
7. Külső átmérő köszörülése
8. Végső ellenőrzés

9.1.3. Házszerű alkatrészek gyártása

A házszerű alkatrészeket a következők jellemzik: anyaguk általában öntöttvas, acélöntvény, alumínium ötvözet vagy hegesztett lemez szerkezet. A házak feladata, hogy alkatrészeket egy szerkezetté fogjanak össze. Kialakításukat tekintve többnyire furatokat és sík felületeket tartalmaznak, amelyek kölcsönös helyzete alapvető az egész gyártmány működése szempontjából. Ennek megvalósítására szigorú pontossági követelményeket kell kielégíteni. Ilyen követelmények: **a/** a tengelyek csapágyazására szolgáló furatok alakhűsége és méretpontossága; **b/** a furatközepek egymás közötti és a bázisfelületektől mért távolságának pontossága; **c/** a furatközépvonalak párhuzamossága és merőlegessége, **d/** az egymás mögötti furatok egytengelyűsége; **e/** a bázis és homlokfelületek síklapúsága; **f/** a furatok homlokfelületének merőlegessége a furat tengelyvonalára; **g/** a furatokban és a bázisfelületeken előírt felületérdességi mérőszám garantálása.

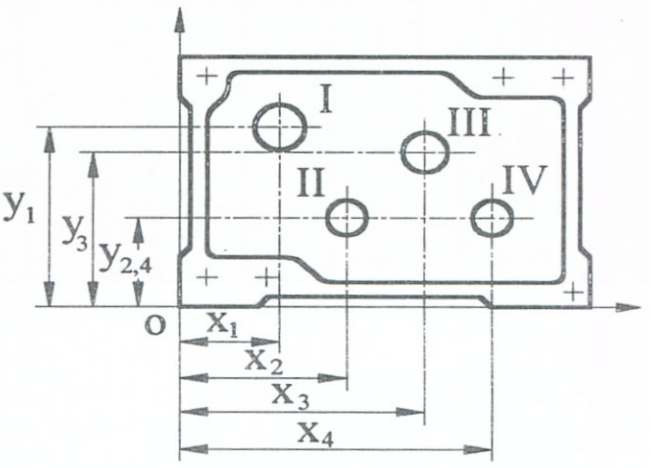
A házszerű alkatrészek műveleti sorrend terve nagymértékben függ az alkatrész alakjától és méreteitől, ezért csak a legfontosabb és a legjellemzőbb műveleteket lehet tipussorrendbe foglalni. Ilyen tipusműveleti sorrend lehet pl. a következő:

1. Nyers darabok **előrajzolása**, azaz a furatok két merőleges középsíkjának kijelölése pontozással.
2. Bázisfelületek, osztósíkok **nagyoló megmunkálása.** (Bázisfelület a háznak az a felülete, amelyre felfogva a furatokat és -ha van- az osztósíkot munkáljuk meg.)
3. **Feszültségmentesítő hőkezelés.**
4. **Bázisfelületek simítása.** (A bázisfelületet rendszerint készremunkálják a furatok megmunkálása előtt.)
5. **Főfuratok megmunkálása** a következő lépésekben: **a/** a furatok nagyolása a ráhagyás nagyobb részének eltávolításával (fúrás teliből, vagy nagyoló furatesztergálás), **b/** félsimító furatesztergálás a helyzetpontosság és alakhűség biztosítása céljából, **c/** simító furatesztergálás a végleges helyzetpontossággal, **d/** a végleges előírt méretremunkálás, **e/** finommegmunkálás az előírt felületérdességi mérőszám elérésére.
6. **Mellékfuratok, rögzítő és egyéb furatok, hornyok stb. megmunkálása.**
7. **Menetfúrások**
8. **Főfuratok ellenőrzése**, bázisfelületek szükség szerinti utánszabályozása.

NC megmunkáló központok alkalmazása az előrajzolást feleslegessé teszi.

Osztott házak gyártástechnológiai folyamatai közé tartozik még a fentieken kivül az osztási síkok megmunkálása az alaplapon és a fedőlapon, a kötőelemek furatmegmun-kálása az osztósíkban, valamint a ház közbenső összeszerelése.

Házszerű alkatrészek megmunkálásához a szerszámgépek különböző tipusai állnak rendelkezésre. A modern szerszámgépipar az egyes tipusokon belül is igen sok változatot fejlesztett ki az egyszerű hosszgyalugéptől a számjegyvezérlésű megmunkáló központig.



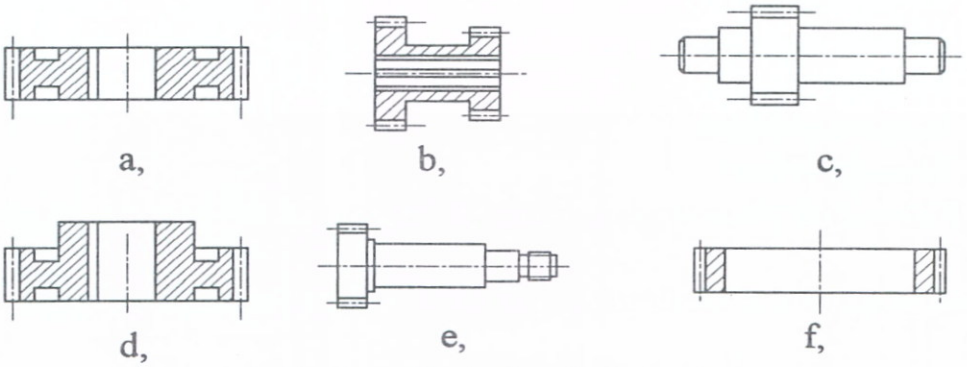
9.4. ábra. Furatesztergálás koordináták szerint

Hatásosan alkalmazhatók házszerű alkatrészek megmunkálására megmunkáló központok is. Itt a három koordináta (X, Y, Z) és a forgóasztal programozható, a gép a megmunkálásokat a munkadarabon mind a négy oldalon (síkmarás, fúrás, felfúrás, dörzsölés, menetvágás stb.)automatikusan elvégzi. Egyes gépeken a munkadarab mind az öt szabad oldalon megmunkálható egy befogásban.(9.4.ábra)

9.1.4. Hengeres fogaskerekek gyártása

A fogaskerekek mérete meghatározza a megmunkáló gép nagyságát, fogazásnál a fogások számát. Kisméretű fogaskerekeknél a kerék egy koncentrikus furattal rendelkező tömör tárcsa, a kerék tengelyirányú mérete sehol sem kisebb a fogszélességnél. A méret növelésekor a kerékagyat és a fogkoszorút áttörés nélküli gerinc köti össze. További méretnöveléskor a gerinc rendszerint köralakú nyilásokkal van áttörve, vagy a gerinc megmaradó részét küllők helyettesítik, míg az egészen nagyméretű küllős fogaskerekeket csavarokkal összeerősített két félkerékből állítják össze.

A fogaskerekeknek alakjuk szerint számtalan kialakítási változata használatos, ezek azonban a 9.5. ábrán látható hat alaptipusra vezethetők vissza. Az **a/** változat furatos kerék rövid aggyal, amely a méretétől függően az előzőekben leirt többféle alakzatú is lehet. A **b/** változat kettőskerék, illetve ha kettőnél több koszorút tartalmaz csoportkerék. A **c/** változat tengelyes kerék, amelynél a kerék és a tengely egy darabból van. A **d/** változat furatos kerék hosszú aggyal. Az agy - az ábra szerint - csak a kerék egyik



9.5. ábra. Fogaskeréktípusok

homloksikján nyúlik túl egyoldali agyas keréknek, míg ha az agy vagy a kerék mindkét homloksikján túlnyúlik kétoldali is lehet. Az **e/** változat száraskereket ábrázol, amely abban különbözik a tengelyeskeréktől, hogy tengely a keréktestnek csak egyik oldalán van, ennek megfelelően a tengely a keréknek csak az egyik oldalán csapágyazott. Végül egy további szerkezeti kialakításnak tekinthetjük az **f/** vázlaton látható fogaskoszorút, amelyet a kerekítésre szerelnek. A fogaskoszorú lehet külső, vagy belső koszorú.

Az itt felsorolt szerkezeti kialakítások bármelyike készülhet egyenes, ferde, vagy nyílfogazással. A nyílfogazás zárt, ha a jobb, illetve a bal hajlású fogazat találkozásánál nincs középső horony. A középső horonnyal rendelkező nyílfogazás egybevágó, ha a fogak középvonalai metszik egymást, mig ha a két kerékfél fogainak középvonalai egymáshoz képest fél osztással el vannak tolva lépcsős nyílfogazásnak nevezzük.

A nemzetközi gyakorlat, valamint az ISO ajánlástervezet a fogaskerekek 12 pontossági fokozatát különbözteti meg. Ezeket 1-12 sorszámozással jelöli. Nagyobb fokozatszámnak nagyobb pontatlanság felel meg.

A gépiparban az 1-4 pontossági fokozat tűréselőírásai szerint készülő fogaskerekek használatát a követelmények jelenleg általában nem igénylik. A 11. és 12. fokozat tűréseinek számértékei viszont olyan pontatlan kerekeket engednek meg, amelyeket a gépipar már nem alkalmaz.

A hengeres keréktesteket szerkezeti kialakítás tekintetében a tárcsák, illetve a tengelyek csoportjába sorolhatjuk, így gyártásukra a 9.1.1. és a 9.1.2. fejezetben leírtak érvényesek. Itt csak a fogazat készítése által megkövetelt további feltételeket foglaljuk össze.

Fogaskerékgyártáskor különös figyelmet kell fordítani a bázis megválasztására. A kerék tengelyre szereléséhez szükséges belső vagy tengelyes illetve száras keréknél a csapágy számára kialakított külső hengerfelület illetve hengerfelületek. Az előírt alakhűség legegyszerűbben úgy érhető el, ha a koncentrikus felületeket vagy egy felfogásban, vagy ugyanarról a bázisról munkálják meg.

Furatos kerekeknél a bázis mindig a furat és egy, a fogaskerék tengelyvonalára merőleges sík, ami gyakorlatilag a kerék homloklapja. Ennek megfelelően furatos kerekek megmunkálásának legelső művelete az említett henger és az erre merőleges síkfelület egy felfogásban való nagyolása illetve simítása. A furat tűrése általában IT7, ennél lazább tűrést csak lassan forgó nagyméretű kerekenél engednek meg, míg igen pontos kerekeknél IT7-nél szigorúbb tűrést írnak elő. A furattal egy felfogásban készült felületet megjelölik, hogy a további műveletekben a bázist könnyen fel lehessen ismerni.

A 9.6. ábra egy csoportkereket ábrázol amelyen öt fogkoszorút kell kialakítani.

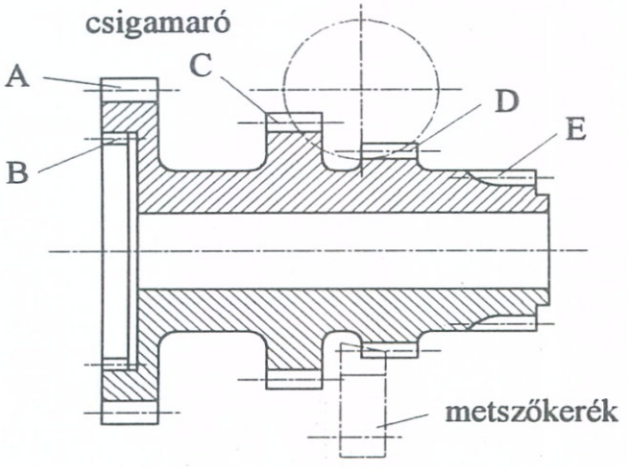
Az **A** hengeres fogaskerék ahol a szerszám rá- és kifutása nincs korlátozva. Eddigi ismereteink szerint egyenes fogazat készítése lehetséges egyenesfogú metszőkerékkel metszőkerekes lefejtő foggyalugépen **(Fellow eljárás)**, egyenesfogú fésűskéssel fésűskéses foggyalugépen **(Maag eljárás)**, vagy fogaskerék lefejtőmaróval **(Pfauter eljárás)**. Ha ferdefogazat készítése van előírva, a fentiek csak abban változnak, hogy a metszőkerekes eljárásnál ferdefogú metszőkereket kell alkalmazni.

A **B** belsőfogazású fogkoszorú. A megmunkálás csak metszőkerékkel lefejtő foggyalugépen lehetséges.

A **C** hengeres fogaskerék, ahol a szerszám rá- és kifutása nincs korlátozva. Gyártására az **A** keréknél leírtak érvényesek.

A **D** egy csoportkerék kisebb átmérőjű fogaskereke, ahol korlátozott szerszámkifutás van, így a Pfauter eljárás nem jöhet számításba. Egyenesfogazat elkészítése egyenesfogú metszőkerékkel, lefejtő foggyalugépen lehetséges. Ferdefogazat előírásakor ferdefogazatú metszőkereket illetve ferdefogazatú fésűskést kell alkalmazni. A ferdefogú fésűskésnél - mivel itt az alternáló mozgás a fogferdeség irányában történik - a **C** és a **D** fogkoszorú közötti szerszámkifutásul szolgáló távolságot a fogferdeség ismeretében számítással kell meghatározni.

Az **E** vázlat kifutás nélküli fogazást mutat, amelynek elkészítése Pfauter eljárással lehetséges, ügyelve arra hogy a lefejtőmaró átmérője meghatározza azt a legkisebb távolságot amelyen belül nem tervezhetjük a **D** fogkoszorú elhelyezkedését.



9.6. ábra. Csoportkerék

Az előzőekben már utaltunk arra, hogy a fogaskerekeknek számtalan változata használatos. Ennek megfelelően a művelettervek is igen sokfélék. Itt csak arra vállalkoz-hatunk, hogy példaként egy egyszerű hengeres furattal rendelkező fogaskerék tipus műveleti sorrendjének változatait ismertessük, attól függően hogy a fogaskerék milyen anyagból készül.

Legyen először a fogaskerék anyaga öntöttvas, vagy hőkezelést nem igénylő acél.

A műveleti sorrend:

1. Darabolás
2. Keréktest nagyolása
3. Keréktest simítása
4. Fogazás
5. Fogak sorjázása
6. Végellenőrzés

Ha a kerék anyaga nemesíthető ötvözött vagy ötvözetlen acél, a keréktest nagyolása és a keréktest simítása közé a **Keréktest nemesítése** műveletet kell beiktatni.

Ha a munkadarab anyaga az előbbi, de a fogfelületek nagyfrekvenciás edzése is elő van irva a műveleti sorrend tovább bővül azzal, hogy a fogak sorjázása után előirjuk a **Fogak edzése nagyfrekvenciás edzéssel, Furat és oldalak köszörülése** és a **Fogak köszörülése** műveleteket.

9.1.5. Kúpos fogaskerekek gyártása

Szerkezeti kialakításukat tekintve a kúpfogas-kerekeknek két változatát különböztetjük meg:

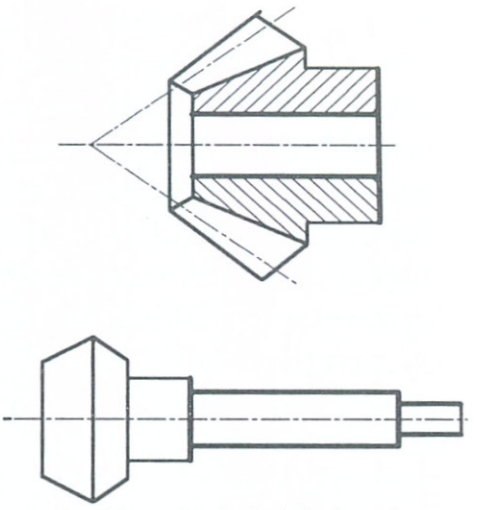
furatos kúpkerekek,
száras kúpkerekek.

Amennyiben a kúpkerékpár méretei és a gyártandó darabszám megengedi, a keréktestek előgyártmányait kovácsolással állítják elő. Ekkor nem csupán a ráhagyások csökkennek - és ezzel a forgácsolási ráfordítás kisebb, a gyártás gazdasá-gosabb - hanem az anyagszálak alakulása is kedvezőbb.

A hengeres fogaskerekek gyártásához hasonlóan itt is nagy körültekintéssel kell a bázisfelületeket megválasztani mivel azok a fogazat alakjától és a fogazógép tipusától is függenek.

Korszerű fogazógépeken **(Heidenreich-Harbeck, Oerlikon, Gleason, Klingelnberg)** az ütköztetés a fogazat mögötti részen történik, így a bázisfelületeket is ennek megfelelően kell választanunk (9.7. ábra.).

A bázisul választott furat tűrése IT 7 , a csap IT 6 minőségnek megfelelő.



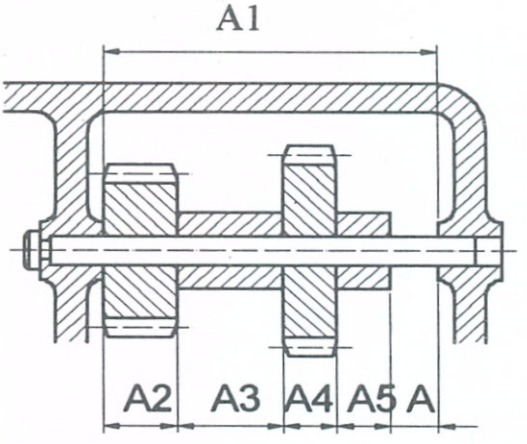
9.7. ábra. Bázisfelületek kúpkerekeknél

A forgácsoló műveletek sorrendje értelemszerűen azonos a hengeres fogaskerekeknél leírtakkal. Fontos szabály, amit művelettervezéskor figyelembe kell venni, hogy a kúpkerékpár mindkét kerekét azonos gyártmányú és azonos rendszerű fogazógépen kell gyártani.

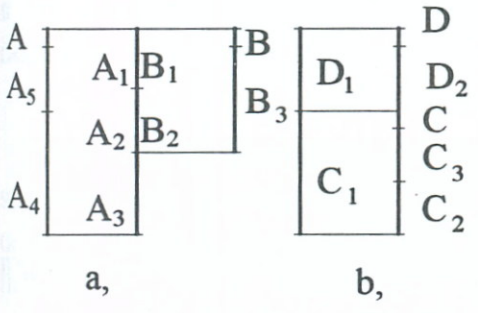
9.2. Szerelés

A szerelés a gyártás utolsó fázisa, amelyben sok különböző eljárás eredményeként elkészül és kiszállításra alkalmas állapotba kerül a termék.

Szereléskor alkatrészeket kapcsolunk össze, hogy az összeállítási rajzon meghatározott kölcsönös elhelyezkedésüket megvalósítsuk. A 9.8. ábrán vázolt hajtóműrész szerelésekor a fogaskerekeket és a távtartó gyűrűket a tengelyre felhúzva oldal-felületeikkel a házhoz, illetve egymáshoz fektetjük. A kerekek szabadonfutók, ezért a szerkezet működőképességéhez szükséges, hogy két alkatrész egy-egy kitüntetett felülete, a ház másik oldala és a távtartó között hézag keletkezzék. Az alkatrészek illeszkedő felületeit összekötő méretek láncot alkotnak, a biztosítandó hézag ennek a méretláncnak az eredője. Méretláncnak nevezzük azt a meghatározott sorrendben önmagában visszatérő méretsorozatot, amely azoknak az



9.8. ábra. Többtagú méretlánccal megoldott feladat



9.9. ábra. Párhuzamos és soros kapcsolódású méretláncok

alkatrészeknek a felületét köti össze, amelyeknek kölcsönös helyzetét meg kell határozni.

A méretlánc elemzéséhez célszerű a méreteket elvonatkoztatni a szerkezeti rajztól, és önálló vázlatként ábrázolni. A szerkesztést az eredővel, azt a két felületet összekötő távolsággal kezdjük, amelyek kölcsönös helyzetét a szereléskor biztosítani kell. Majd ezeket a felületeket összekapcsoljuk egymással az egyes alkatrészek illeszkedő felületeinek távolságát meghatározó méreten vagy méreteken keresztül. A méretlánc tagjait az ábécé valamelyik nagybetűjével jelöljük és sorszámával indexeljük. Az eredőt, amelyet a továbbiakban zárótagnak nevezzük, index nélkül hagyjuk.

A méretláncok kapcsolódhatnak egymással. A kapcsolódás alábbi típusait különböztetjük meg:

a) Párhuzamos méretláncokban a kapcsolódó láncok egy vagy több tagja közös, pl.a 13.2.ábrán $A_1 = B_1$, $A_2 = B_2$.
b) Soros az olyan kapcsolat, amelyben egy méretlánc az előző szerelése után kialakult bázisra épül, pl. a 9.9.ábrán D a C-re.
c) Vegyes méretláncban párhuzamos és soros kapcsolódás is előfordul.

A méretlánc zárótagjának (eredőjének) nagysága az lánctagok algebrai összege:

$$A = \sum_{i=1}^{m} A_i \,, \tag{9.1.}$$

ahol A a méretlánc zárótagja, A_i a méretlánc i-edik tagja, m a méretlánc tagjainak száma.

Az összegezéskor a lánctagokat előjelük szerint kell figyelembe venni. Pozitív előjelűek azok a tagok, amelyek növekedésével a zárótag nagysága növekszik, viszont negatív előjellel kell venni azokat a tagokat, amelyek növekedésével a zárótag nagysága csökken. Ha a (9.1.) képletet a fentiek szerint kibontjuk, a zárótag nagyságát a következő összefüggés határozza meg:

$$A = \sum_{i=1}^{l} A_i - \sum_{i=l+1}^{m} A_i \,. \tag{9.2.}$$

A képletben l a növelő tagok száma. Az m-l csökkentő tagot most pozitív előjellel kell helyettesíteni, mert a negatív előjelük ki van emelve. Az összefüggésből az is levonható, hogy egy méretláncban megkülönböztethetünk növelő (pozitív) és csökkentő (negatív) ágat. A zárótag előjele pozitív vagy negatív lehet. Technológiai értelmezésben a pozitív előjel játékot, a negatív fedést jelent. A lánctagok minimális száma 2. Ennek a határesetnek egyik változatával gyakorisága és fontossága miatt a géprajz, a gépelemek, a szabványosítás "illesztések" címszóval nagy terjedelemben foglalkozik.

A zárótag tűrésének számításához az MI 487/2-77 ajánlása szerint vezessük be a következő jelöléseket: (Megjegyezzük hogy a Magyar Szabványügyi Hivatal új Műszaki Irányelvek kiadását és a régiek gondozását 1994-ben megszüntette.)

a az A jelű méretlánc zárótagjának tűrése,
a_{es} a zárótag tűrésének felső eltérése a névleges mérettől,
a_{ei} a zárótag tűrésének alsó eltérése a névleges mérettől,
a_i , a_{ies} , a_{iei} ugyanezek a fogalmak az A jelű méretláncban az i-edik lánctagra vonatkoztatva.

A zárótag tűrésének felső, illetve alsó eltérése és a lánctagok eltérései közötti összefüggés:

$$a_{es} = \sum_{i=1}^{l} a_{ies} - \sum_{i=l+1}^{m} a_{iei}, \qquad (9.3.)$$

$$a_{ei} = \sum_{i=1}^{l} a_{iei} - \sum_{i=l+1}^{m} a_{ies}, \qquad (9.4.)$$

A zárótag tűrésének nagysága:

$$a = a_{es} - a_{ei}, \qquad \text{vagy} \qquad (9.5.)$$

$$a = \sum_{i=1}^{m} a_i. \qquad (9.6.)$$

Az eddig leírtak a lineáris (egydimenziós) méretláncokra vonatkoztak. A gyakorlatban előfordulnak többdimenziós (síkbeli, térbeli) méretláncok is. Ilyenkor célszerű vektoriális számítási módot használni, a méret ugyanis vektorként is definiálható, mint a két végpont helyvektorának különbsége.

9.2.1. A szerelési tűrés biztosításának módszerei

A zárótag előírt tűrése az alábbi módszerekkel biztosítható:

a, teljes cserélhetőség,
b, részleges cserélhetőség,
c, utólagos illesztés,
d, válogató párosítás
e, beszabályozás.

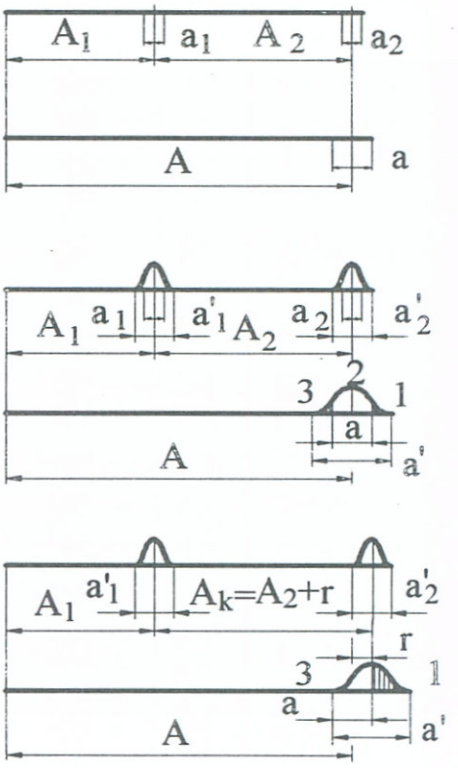
a/ A teljes cserélhetőség módszere

A teljes cserélhetőséget az jellemzi, hogy a zárótag tűrését a lánctagok minden külön beavatkozás (kiválasztás, igazítás) nélkül biztosítják.
A teljes cserélhetőség előnyei:

- a szerelés egyszerű, mert illesztésre, válogatásra, bonyolultabb döntésekre nincs szükség;
- ezért betanított munkások is végezhetik;
- a szerelés automatizálása a legkisebb költséggel jár;
- a műveletekre szabatos norma adható;
- könnyíti a folyamatos szerelés megvalósítását;
- egyszerűsödik a tartalékalkatrész-gyártás.

A módszer hátránya, hogy a lánctagok kis tűrése miatt az alkatrészgyártást nagyon költségessé teszi. A teljes cserélhetőséget általánosan csak kevés tagú méretláncoknál (furat-csap illesztés) alkalmazzák. Több tagú méretláncok esetében csak tömeggyártásban használják, ahol különleges gyártóeszközök lehetővé teszik a fokozott pontosságú alkatrészek gazdaságos előállítását.

Az összes többi méretláncmegoldási módszer kompromisszumra épül, melynek egyik oldala a szerelés bonyolítása és ezzel drágítása, a másik oldala az alkatrészgyártás költségeinek csökkentése. A kompromisszum mértéket meghatározó cél pédául az összes gyártási költség minimalizálása.



9.10. ábra. Méretlánc megoldási módszerek összehasonlítása

b/ A részleges cserélhetőség módszere

A részleges cserélhetőség módszerét alkalmazva a válogatás nélkül összeszerelt alkatrészek nem biztosítják minden esetben a zárótag előírt tűrését, megjelenik a szerelési selejt. Attól függően, hogy milyen p valószínűséget kívánunk arra nézve, hogy a zárótag nagysága az előírt tűrésen belül essék, a tagok tűrése bővíthető. A bővülés már kis áldozattal is elég jelentős lehet. Ha egy 4 tagú méretláncra előírjuk a p= 0,9973 (közel 100%) valószínűséget, a közepes lánctagtűrés a teljes cserélhetőség módszeréhez viszonyítva kétszeresére bővíthető. (Normális gyártási méreteloszlás esetén.)

A részleges cserélhetőség módszere a 9.10./b ábrán tanulmányozható. A méretlánc vázlata ki van egészítve a teljes cserélhetőségi tűrésekkel, a kibővített tűrésekkel (vesszővel felüljelzett a' betűk), és az összetevők illetve az eredő méreteltérései eloszlásának sürüségfüggvényével.

A műszaki gyakorlatban a legnagyobb szerepe a normális vagy Gauss-féle eloszlásnak van. A normális eloszlás törvényszerűségei olyan mérethalmazra alkalmazhatók, ahol a szóródás a véletlennek van alávetve, nincsenek a gyártási hibák okai között domináló tényezők. Az $\bar{x}$ középértékű és σ szórású normális eloszlás sűrűségfüggvénye

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2}} \qquad (9.7.)$$

Az ábrán $x = 0$. Ez arra a feltételezésre épül, hogy szóródás a lánctagok névleges értékére szimmetrikus. Az eredő szórása (σ) az összetevők szórásából (σ_i) a következőképpen számítható:

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^{m} \sigma_i^2} \qquad (9.8.)$$

A szerelési tűrést kielégítő esetek valószínűsége a görbe alatti (2 jelű) területtel arányos, és a következők szerint számítható:

$$p = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\frac{a}{2}}^{\frac{a}{2}} e^{-\frac{x^2}{\sigma^2}} dx \qquad (9.9.)$$

Az eredő és az összetevők kibővített tűrései között a következő összefüggés áll fenn:

$$a' = \sqrt{\sum_{i=1}^{m} \left(a_i'\right)^2} \qquad (9.10.)$$

Ebből a részleges cserélhetőség módszerének közepes lánctagtűrése meghatározható:

$$a' = \sqrt{m} \cdot a'_{i\,köz}$$

$$a'_{iköz} = \frac{a'}{\sqrt{m}} \qquad (9.11.)$$

A részleges cserélhetőség módszerét olyankor ajánlott alkalmazni, ha lánctagok száma nagy (m>4), a zárótag tűrése szűk, és viszonylag nagy tömegben gyártott alkatrészekből végzik a szerelést.

c/ A utólagos illesztés módszere

A zárótag előírt pontosságát az egyik - előre kijelölt - lánctag szereléskor elvégzendő szükség szerinti utánmunkálásával biztosítják. Ezt a lánctagot kompenzáló tagnak, a tűrés eléréséhez szükséges lemunkálandó rétegvastagságot kompenzálási értéknek nevezzük. Kompenzáló tagnak egyszerű alakú, könnyen megmunkálható alkatrészt kell választani. Párhuzamos méretláncokban a közös tagok nem lehetnek kompenzátorok!

A geometriai viszonyok a 9.9/b ábrán tanulmányozhatók, a kiindulás ugyanis mindkét módszernél közös: a lánctagok tűrése nagyobb mint a teljes cserélhetőségnél. Ha egy egyedi szerelési esetet az utólagos illesztés szempontjából vizsgálunk, attól függően, hogy melyik mezőbe esik, három minősítés lehetséges.

1 mező: javítható selejt, mert az egyik lánctag méretének csökkentésével (megmunkálásával) az előírt tűrés megvalósítható.

2 mező: jó, nincs szükség beavatkozásra.

3 mező: végleges selejt.

Az utólagos illesztésnél követelmény a selejtmentes szerelés, ehhez a kompenzátorként kijelölt lánctag névleges gyártási méretét meg kell növelni (9.9/c ábra).

$$A_k = A_i + r \qquad (9.12.)$$

A minimális kompenzálási hozzáadás

$$r = \frac{a' - a}{2} \qquad (9.13.)$$

Ebben az esetben a zárótag tűrésmezője eltolódik, és csak az 1 és 2 eset fordulhat elő. A maximális kompenzálási érték (lemunkálandó rétegvastagság)

$$a_k = a'-a \qquad (9.14.)$$

A módszer alkalmazása jelentős szerelési többletmunkát igényel: többszöri mérés, megmunkálás, az ezekhez szükséges össze-és szétszerelés. Kedvezőtlen a forgácsnak, mint szennyező anyagnak a megjelenése a szereldében. Az utólagos illesztés módszerét ezért főleg egyedi vagy kissorozatgyártásban alkalmazzák. Nagysorozatgyártásban is előfordul nagy tagszámú és szűk zárótagtűrésű méretláncoknál.

d/ Válogató párosítás módszere

A válogató párosítás módszerét ez jellemzi, hogy a teljes cserélhetőséget biztosító lánctagtűréseket az alkatrészek gazdaságos gyártása céljából többszörösre bővítik, majd az alkatrészeket az eredeti tűrés szerinti csoportokra válogatják. A többszörösre bővített tűrésen belül az alaktűrésnek az eredeti szinten kell maradnia. A csoportszám a gyakorlatban 2-5 között változik, és minden lánctagra azonos. Az ugyanolyan sorszámú csoportokból összeszerelt lánctagok minden esetben biztosítják az előírt zárótagtűrést, a zárótag névleges mérete azonban csak akkor független a csoportszámtól, ha a lánctagok tűrése azonos.
A válogató párosítás alkalmazása az alábbi többletmunkával jár:

- az alkatrészek csoportokba válogatása,
- az alkatrészek csoportok szerinti jelölése, illetve annak biztosítása, hogy különböző
- csoportok ne keveredhessenek össze,
- nem azonos méreteloszlás esetén az egyes csoportokban a hiányzó alkatrészek pótlása.

A válogató párosítás akkor alkalmazható, ha a zárótag tűrése nagyon kicsi, és a méretlánc kevés tagú (m = 2-3). Tipikus alkalmazási területe a gördülőcsapágy-gyártás.

e/ A beszabályozás módszere

Ez a módszer alapvetően azonos az utólagos illesztéssel. A lényegi eltérés az, hogy a kompenzáló tag méretét nem forgácsolással helyesbítik. A zárótag tűrése a kompenzáló tag méretének változtatásával (mozgó kompenzátor), vagy a több méretben legyártott kompenzáló tagok közül kiválasztott megfelelő fokozat (fix méretű kompenzátorok) beszerelésével biztosítható. A 9.11. ábra ugyanannak a szerelési feladatnak a megvalósítását mutatja mozgó, illetve fix méretű kompenzátorral.

Beszabályozás mozgó kompenzátorral

A 9.11. ábrán a mozgó kompenzátor a tengelyirányban állítható persely, amelynek eltolásával az A_k méret változtatható. A kompenzátor mozgási tartománya

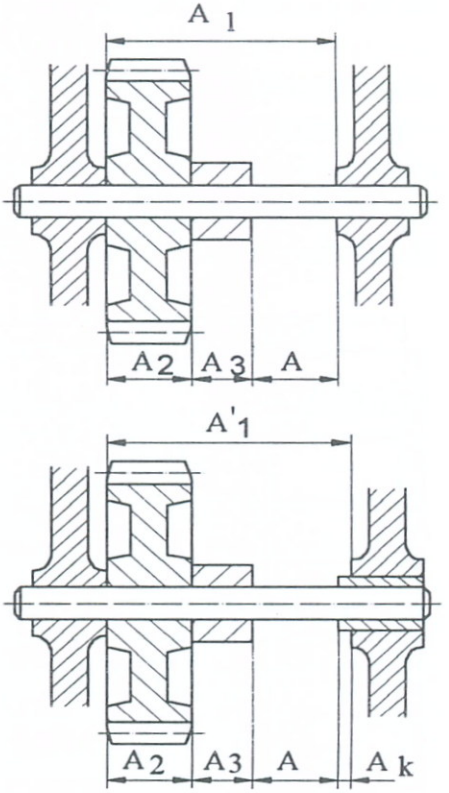
$$A_{kmax} = a'-a. \qquad (9.15.)$$

Hogy a helyesbítés minden esetben elvégezhető legyen, az egyik lánctag névleges értékét

$$r = \frac{a' - a}{2}$$

értékkel meg kell változtatni. Az összegzéskor a lánctag értéket előjelesen kell figyelembe venni. Például a 9.11. ábrán

$$A_1' = A_1 + r$$



9.11. ábra. Példák a beszabályozás módszerére

Beszabályozás fix méretű kompenzátorokkal

Kompenzátorként a lánctagok közül a legegyszerűbb alakú alkatrészt kell kijelölni (gyűrű, alátét stb.). A 9.11. ábra szerinti példában az A_3 névleges méretű tagot választottuk. Ezt a tagot többféle méretben kell előre tervezetten legyártani. A szereléskor az A_1 - A_2 méret megmérése után olyan méretű gyűrűt kell behelyezni, amely a zárótag előírt tűrését biztosítja.

Az egyes fokozatokból elkészítendő kompenzátorok darabszámát a tűrés-eloszlás sűrűségfüggvényének ismeretében meg lehet határozni.

A beszabályozás módszerének előnyei:

- a méretlánc zárótagjának tetszőleges pontossága érhető el valamennyi többi tag gazdaságos gyártási tűrése mellett;
- szereléskor mellőzhető a forgácsolás, a szerelési idő nem ingadozik;
- a zárótag pontosságát a szerkezet használata során a kompenzátor cseréjével vagy utánállításával folyamatosan fenntarthatjuk.

Hátránya viszont, hogy növekszik a tagok száma. Ennek, mint költségnövelő tényezőnek a hatása mind az alkatrészgyártásban, mind a szerelésben jelentkezik.

9.2.2. Szerelési eljárások

Az alkalmazott eljárások az alábbi csoportokba sorolhatók:

- Egyesítés
- Munkadarab-kezelés
- Ellenőrzés
- Beszabályozás
- Egyéb eljárások

a) Egyesítés

Az **egyesítés** kapcsolat létrehozása két vagy több geometriailag határozott szilárd test, vagy ugyanilyen test(ek) és alaktalan anyag között, továbbá egy és ugyanazon test részei (vége, szélei) között. Az egyesítő eljárások csoportosításakor (9.1 táblázat) a rendezési szempont a munkadarab (szerelvény) elemei kapcsolatának jellege és a kapcsolat létrehozásának módja. A kapcsolat jellege szempontjából mértékadó a kötés oldhatósága.

Sorszám	Az eljárás	A kapcsolat jellege	Az oldhatóság
1	Összerakás	Nehézségi erő (súrlódás), alakzárás vagy rugóerő	Oldható
2	Töltés	Körülzárás	Oldható
3	Szorítás	Erőzárás	Oldható
4	Alaklétrehozás	Alakzárás	Nem oldható
5	Képlékeny alakítás	Alakzárás	Nem oldható
6	Hegesztés	Anyagkötés	Nem oldható
7	Forrasztás	Anyagkötés	Általában nem oldható
8	Ragasztás	Adhézió (kohézió)	Nem oldható
9	Textilegyesítés	Alakzárás és/vagy erőzárás	Oldható

9.1. táblázat. Egyesítő eljárások (MSZ-05-09.4000-87)

A nemzetközi szabványosítás az eljárásokat további csoportokra, ezeket alcsoportokra bontva kidolgozta a szerelési eljárások szinte hézagtalan rendszerét.

b) Munkadarab-kezelés

A gyártási folyamat résztevékenységként magában foglalja az anyagfolyamot is, azaz a raktározást, szállítást és munkadarab-kezelést. A munkadarab-kezelés segédtevékenysége a szerelésnek is. Összekötő tag a különböző munkahelyek és berendezések között, amelyek az anyagfolyam megállói.

Minden munkadarabnak van saját koordinátarendszere. Amikor egy alkatrész bekerül a szerelési rendszerbe, a helyzetét egy rendszerfüggő vonatkoztatási koordináta-

rendszerben meghatározza a saját koordinátarendszer kezdőpontjának helyvektora (pozíció), és tengelyeinek szöghelyzete (orientáció vagy tájolás). Ez a kiindulási elhelyezkedés lehet véletlenszerű is. Az alkatrész azonban beépített állapotban a szerkezet koordinátarendszerében csak egy meghatározott helyzetbe kerülhet. Az alkatrészeknek a kiindulási helyzetből az összeállítási rajzon előírt helyzetbe való hozása a munkadarab-kezelés feladata. A feladathoz szükséges tevékenységeket a 9.2 táblázat rendszerezi.

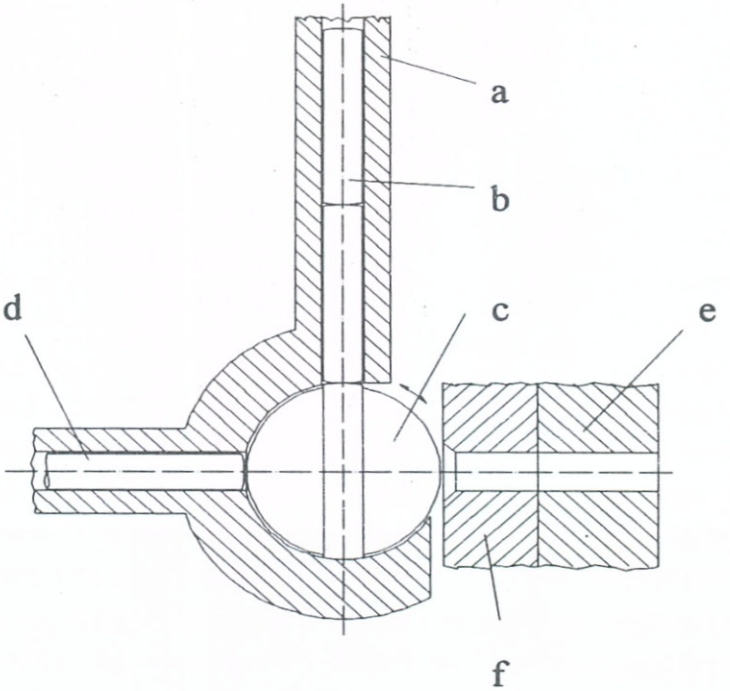
	Tárolás	Mennyiség, változtatás	Mozgatás	Biztosítás	Ellenőrzés
1		Megosztás Egyesítés	Fordítás Eltolás	Megtartás Oldás	Vizsgálat
2	Rendezett tárolás Részlegesen rendezett tárolás	Leválasztás Adagolás Elágaztatás Összevezetés Osztályozás	Billentés Tájolás Pozicionálás Rendezés - Vezetés Továbbadás	Szorítás Elengedés	Jelenlét Alak Nagyság Szín Tömeg Pozíció Darabszám
3	Rendezetlen tárolás*		Szállítás*		

9.2 táblázat. A munkadarab-kezelés tevékenységcsoportjai és résztevékenységei

1 Elemi tevékenységek, 2 Összetett tevékenységek, 3 Kiegészítő tevékenységek

* nem munkadarab-kezelési tevékenységek, csak az anyagfolyam teljessége indokolja a felsorolásukat.

A munkadarabkezelési feladatok számszerűsítésére használják a rendezettség fokának fogalmát. Teljes rendezettség esetén ez 6, és annyit jelent, hogy a vonatkoztatási koordinátarendszerben a munkadarab saját koordinátarendszerének mind a hat koordinátája ismert. Részleges rendezettség esetén a rendezettségi fok két szám összege: a pozicionáltság fokáé és az orientáltság fokáé. Az orientáltság foka 3-tól 0-ig változhat attól függően, hogy hány tengely szöghelyzete ismert. A pozicionáltság foka 2, ha a saját koordinátarendszer kezdőpontja ismert görbén (kör, egyenes stb) ; 1, ha ismert



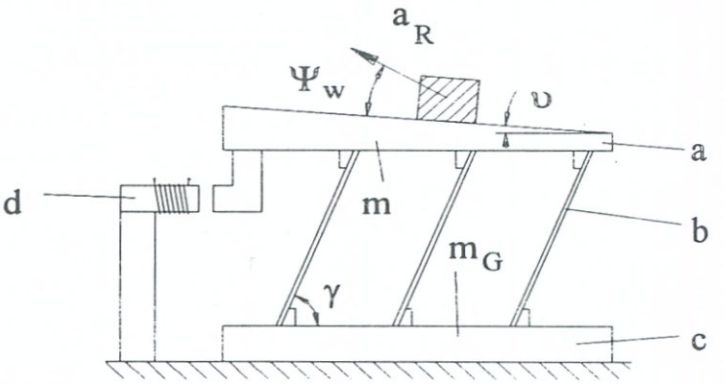
9.12. ábra. Betolókészülék elve a, aknás tár; b, hengeres csap; c, fordító; d, betolócsap; e, f, egyesítendő alkatrészek

felületen (sík, henger) ; 0, ha a térben tetszőlegesen a térben helyezkedik el.

Az egyes kezelési tevékenységekhez eszközök, berendezések rendelhetők. Rendezett és részlegesen rendezett alkat-részek tárolása tárakban történik. Ezek lehetnek: szalag-, lánc-, dob- vagy síktárak (paletták).

A 9.12. ábra arra mutat példát, hogy az elemi kezelő tevékenységek kombinál-hatók. Az adagoló betoló készülék a következő tevékenységeket látja el: a munkadarabok rendezett tárolása és hoz-závezetése; egy munkadarab leválasztása (adagolás); a munkadarab tájolása elfordítással, közben a pozíció megtar-tása; betolás. Az utolsó már nem kezelési tevékenység, hanem egyesítő eljárás.

Kis méretű alkatrészek rendezéséhez a nagysorozatú és tömeges szerelésben a legelterjedtebb berendezés a rezgőadagoló. A működési elvének lényegét a 9.13. ábrán mutatjuk be. Az itt ábrázolt lineáris rezgőszállító kizárólag hozzávezetésre használható. Az üzemi frekvencia 25 és 10 Hz között, az amplitúdó 1mm alatt van. A paraméterek megfelelő megválasztása (összehangolása) esetén a munkadarabok a lejtőn felfelé haladnak. A rezgőadagoló működési elve azonos, a felépítése annyiban tér el, hogy a vályú nem egyenes, hanem a munkadarab vezetőpályája egy edény (hengeres, vagy felfelé bővülő lépcsősen hengeres) belső falán csavarvonal mentén van kialakítva. A rezgőadagoló a következő kezelési tevékenységeket végzi el: a munkadarabok rendezetlen munkahelyi tárolása, rendezése, a rende-zett darabok vezetése a pálya végéig. Magyar elnevezésével ellentétben nem adagol, illetve csak kiegészítő berendezéssel. A rendezés céljából a vezetőpá-lyát a munkadarabtól függően kell kialakítani. A kialakításban döntő az alapprofil, de ez a pálya bizonyos szakaszán változhat. Jellegzetes módosítások: szűkítés, horony, felső kapu, oldalvezetésváltozás, ejtőnyílás, lépcső stb. Ezek az elemek a munkadarabok tájoltságának fokát növelik ritkábban a darab elfordításával, általánosabban a rosszul tájoltak visszaejtésével az edény fenekére.



9.13. ábra. A lineáris rezgő szállító működési elve

a, rezgővályú; b, rugó; c alaplap; d, mágnes; m_N hasznos tömeg (vályú és munkadarab együtt); m_G ellentömeg; ν, vályú lejtőszöge; Ψ, a kidobási szög; γ, a rugók elhelyezési szöge; a_R, a munkadarab gyorsulása

Az eddigi példákból is levonható megállapítást általánosítani lehet: a munkadarab-kezelő berendezések, eszközök általában munkadarab-specifikusak, rugalmatlanok és gazdaságos alkalmazásuk csak tömeggyártásban, esetleg nagysorozatgyártásban lehetséges. Az ember az ügyességével, kezével, érzékelő- és döntőképességgel a leguniverzálisabb és ezért legrugalmasabb munkadarabkezelő. Egyetlen olyan gép van, amely kevés változatú gyártmánycsaládot tekintve, és a változatokat illetően kissorozatot feltételezve versenyképes vele, az ipari robot.

Az ipari robot többtengelyű, univerzálisan alkalmazható mozgató automata, melynek mozgásai a mozgásfajtát, a sorrendet, az utakat és a szögeket illetően szabadon programozhatók, esetleg szenzorral vezérelhetők. Felszerelhetők megfogókkal, szerszámokkal vagy más gyártóeszközzel, és képesek munkadarab-kezelési és/vagy gyártási feladatok végrehajtására.

c) Ellenőrzés

Jól szervezett alkatrészgyártás esetén, amely feltételezi, hogy selejt a szerelésbe nem kerülhet, az alkatrészeket nem szükséges ellenőrizni. Kivéve, ha a munkadarab-kezelési folyamatban valamely résztevékenység indításához, vagy a végrehajtás ellenőrzéshez elkerülhetetlen. (Lásd 9.2 táblázat).

Szerelés közben méréseket kell végezni minden olyan méretlánc megoldási módszernél, amely a zárótag tűrését kompenzálással biztosítja.

A szerelési művelet végén ellenőrizni kell az alkatrészek meglétét (beszerelt állapotban), a méretláncok zárótagját.

Az eddig felsoroltak zömében geometriai ellenőrzések, mérések. Ezek elengedhetetlenek a minőség megállapításához, de nem mindig elengedők.

A funkcionális ellenőrzés a gép üzemeltetése közben, vagy ahhoz hasonló - mesterségesen létrehozott - körülmények között folytatott vizsgálat. Ennek eredménye dönt arról, hogy a gép, vagy a vizsgált egysége megfelel-e az átvételi előírásoknak. Ilyen vizsgálatokat bizonyos termékekre hatóságok, szabványok kötelezően írnak elő, ha a meg nem felelő minőségű termék használata nagyfokúan balesetveszélyes (pl. kazán, elektromos berendezés).

Az ellenőrzendő paraméterek a gyártmánytól függően a legkülönbözőbbek lehetnek: teljesítmény, hatásfok, fogyasztás, mérési pontosság, megmunkálási pontosság, tömítettség, szigeteltség stb.

d) Beszabályozás

A beszabályozás azoknak a szerelés közben - előre tervezetten - végzett tevékenységeknek összessége, amelyek célja az alkatrészgyártás megengedettnél nagyobb eltérései összegzett hatásának kiegyenlítése a termék működési pontosságának vagy egyéb minőségi tulajdonságának az előírt határokon belülhozása végett. A beszabályozási eljárások osztályozási alapelve megegyezik a megmunkálási eljárások rendszerével. E szerint beszabályozás végezhető:

- Alaklétrehozással, pl. vezetőoszlopos szerszámok mozgólapjában elhelyezett perselyek egytengelyűségének biztosítása beágyazással.
- Képlékeny alakítással, pl. lemezek szerelése.
- Anyagleválasztással, pl. utólagos illesztés módszerénél a kompenzáló tag forgácsolása.
- Egyesítéssel, pl. beszabályozás fix méretű kompenzátorokkal.
- Beállítással, azaz előre megtervezett állító szerkezettel. Egyébként ez a leggyakoribb beszabályozási módszer. Így állítják a kúpgörgős csapágyak csapágyhézagát, biztonsági szelepeken a nyomáshatárt.

Nemcsak a gépészetben alkalmazzák. Ide tartozik a húros hangszerek hangolása, elektrotechnikában a rezgőköröké.

e) Egyéb eljárások

Vannak olyan tevékenységek, amelyeket szerelés közben kell elvégezni, vagy a szerelés után, de ahhoz kapcsolódva, és amelyek az eddig használt rendszerezésbe nem sorolhatók be. Ilyenek a teljesség igénye nélkül: tisztítás, kenés, bejáratás, jelzés, konzerválás, csomagolás. Ezek mindennapi fogalmak, külön magyarázatot nem igényelnek, de a tervezés ezeknél is fontos. Példaképpen vegyük egy golyóscsapágy szerelését. A golyóscsapágyat beszerelés előtt tisztítani nem szabad, kenni nem szükséges, de annál nagyobb gondot kell fordítani a tisztaságra. Ezt a csapágynál úgy biztosítjuk, hogy csak a szerelő munkahelyen a szerelés előtt vesszük ki az eredeti gyári csomagolásból. Ideális esetben a munkahely és a csatlakozó alkatrészek állapota, tisztasága megfelel az előírásoknak. Ha nem így van, tisztítani kell. Szorításos egyesítéshez a csapágyhoz illeszkedő felületeket kenni kell.

9.2.3. Szerelési rendszerek

A szerelési folyamat szerelési rendszerben megy végbe, amelyet adott termékspektrumra kell kialakítani. A rendszer elemeit, szerkezetét, be- és kimenő mennyiségeit a 9.14. ábra mutatja. A rendszert több ismérv szerint jellemezhetjük.

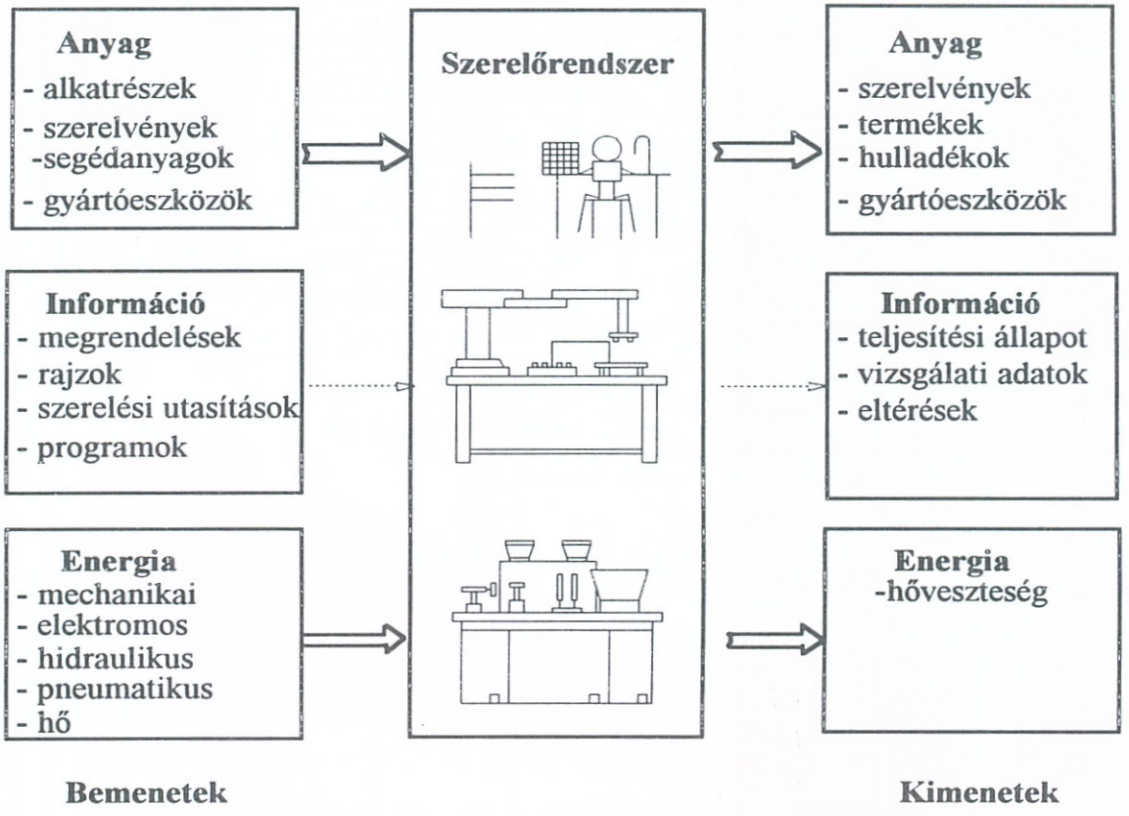
Az automatizáltság foka

Egy rendszer automatizáltsági foka az automatizált munkahelyek arányát jelenti az összes munkahely között. Kevésbé fejlett rendszerben használható a gépesítés foka is. Ezen kritériumok alapján megkülönböztethetünk kézi, gépesített és automatizált rendszereket (9.15. ábra). Az ábra minősítő rendszere egyértelműen csak egyedi munkahelyekre alkalmazható. A teljesen homogén rendszerek ritkák, ezeknek a fokszáma 1 lenne. Az ábrából kiolvasható az egyes feladatok vonatkozásában az ajánlott fejlesztési sorrend is.

A rugalmasság

A rugalmasság-merevség fogalompár a rendszernek azt a képességét jellemzi, hogy mennyire tud változó követelményekhez igazodni. A legrugalmasabb munkahely a kézi. Átállítási költsége, de a termelékenysége is a legkisebb. Általában ezt használják egyedi és kissorozat szerelésben, ahol gyakran merül fel az átállás szükségessége. Legmerevebb szerelő munkahely a mechanikus programtárolású szerelőautomata. Átállíthatóságról gyakorlatilag nem beszélhetünk, viszont a legtermelékenyebb szerelő-berendezés. Kimondottan a tömeges szerelésre alkalmas. A kettő között, a rugalmasságot és a termelékenységet is biztosítva helyezkednek el a szabadon programozható robotokkal, vezetőnélküli szállítókocsikkal kialakított rendszerek. Bár jóval nagyobb a beruházási költségük, de a gyakorlat igazolta, hogy a rugalmasságukból eredő nyereség ezt

kiegyenlítheti. A rugalmasság itt egy termékcsaládon belül a rendelő igényei szerinti változatok kisdarabszámu, sőt egyedi szállítását jelenti szűk határidőn belül.



9.14. ábra. Szerelőrendszer rendszertechnikai ábrázolása

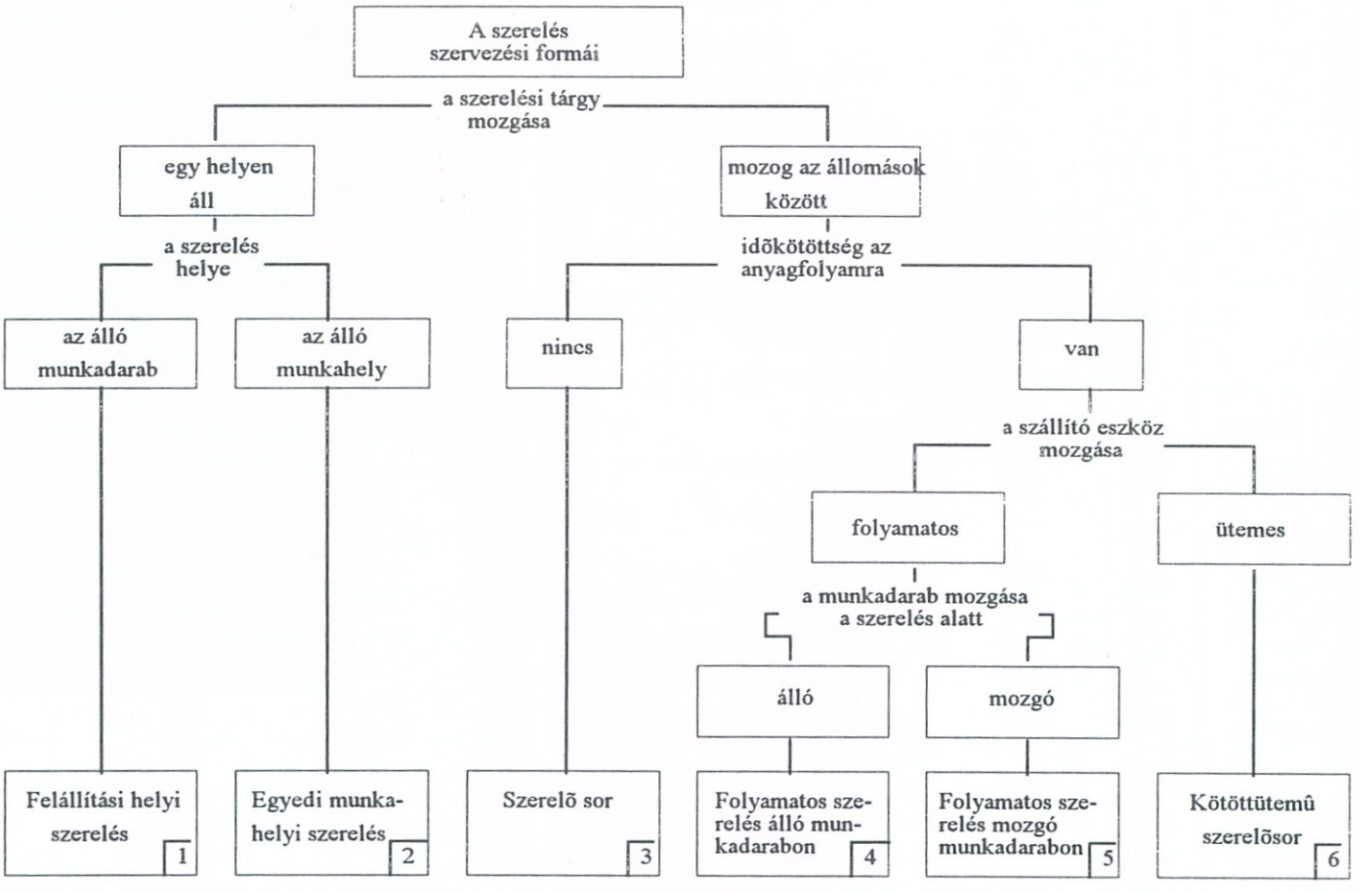
	Szerelőrendszer fejlesztési fokozatai			
Feladat	kézi	gépesített	automatizált merev	automatizált adaptív
Energiaellátás	ember	gép	gép	gép
Szerszámvezetés	ember	ember	gép	gép
Folyamatirányítás	ember	ember	vezérlő	vezérlő
Felügyelet és optimálás	ember	ember	ember	szenzor

9.15. ábra. Szerelőrendszerek fejlesztési fokozatai

Szervezési forma

A szerelés szervezési formáját a szerelés tárgyának mozgásállapota és a munkamegosztás foka határozza meg (9.16. ábra). A szerelés tárgyán (munkadarabon) a bázisalkatrészt, illetve a fokozatosan kialakuló terméket értjük. A beszerelendő alkatrészek mozgását ez a rendszerezés figyelmen kívül hagyja. A felsorolt formák közül csak az "egyedi munkahelyi szerelés"-nél nincs munkamegosztás. Itt egy szerelő egy egységet, vagy egyszerű terméket készre szerel. A termék csak olyan lehet, amelyhez az eszközök és alkatrészek (napi, félnapi szükséglet) egy munkahelyen elférnek. Nagy szerelési darabszám esetén a munkahelyet vagy többszörözni, vagy automatizálni kell. Az összes többi szerelési formánál van munkamegosztás: a szerelési folyamat egy-egy szakaszát más-más szerelő különböző munkahelyeken végzi és a szerelés tárgya mozog a munkahelyek között. Egyedüli kivétel a felállítás helyén végzett szerelés (1), ennél ugyanis a szerelő mozog a felállítási helyek között.

Ezt a formát főleg terjedelmes, vagy nagytömegű nehezen mozgatható termékek végszerelésénél alkalmazzák. Még egy megjegyzés: szerelés szempontjából a (4) és (6) forma között lényegi különbség csak az, hogy a (6)-nál a szállítóberendezés a szerelési ütemet is biztosítja, míg az (5)-nél megvalósítható a szabadütemű szerelés is, vagy a kötött ütemet külön kell jelezni.

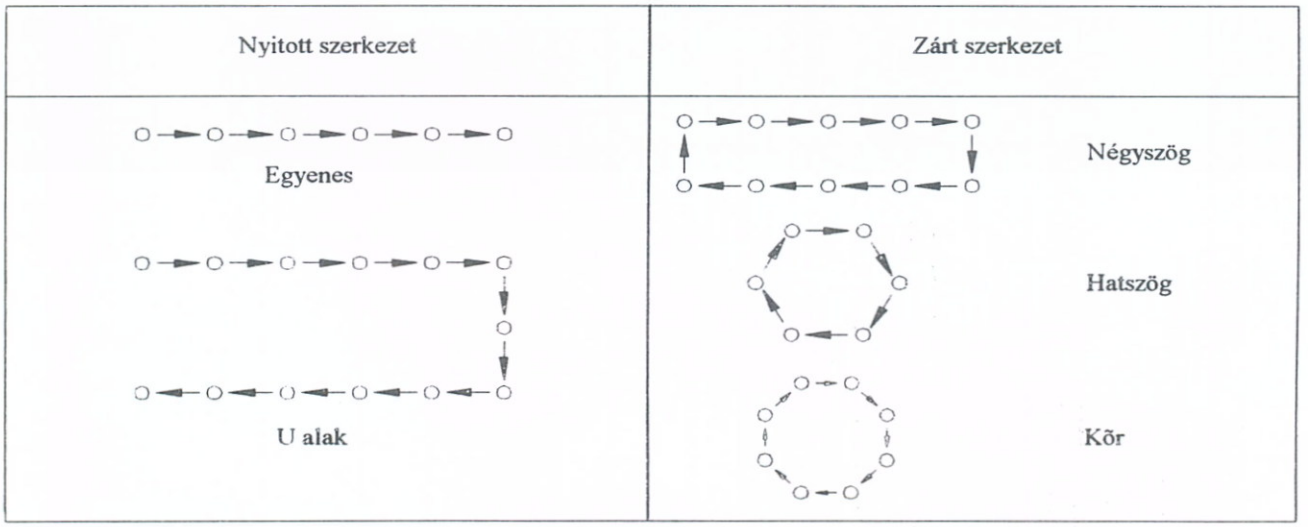


9.16. ábra. A szerelés szervezési formái

Munkahelyelrendezés

A hagyományos "munkahely" mellett a szerelési rendszer egységnyi elemének megnevezésére a szakirodalom egyre gyakrabban használja az "állomás" szót. A szerelőállomások térbeli elrendezésének és kapcsolódásának alapformáit a 9.17. ábra tünteti fel. A legegyszerűbb az egyenesmenti elhelyezés; ha az állomásszám ezt a lehetőséget korlátozza, választható a megtört vonal, illetve U forma. Előnye a nyílt elrendezéseknek a jó hozzáférés az állomásokhoz (alkatrészbeszállítás, zavarelhárítás) a legjobb helykihasználtság mellett. A zárt szerkezetet akkor kell választani, ha egy tárgyat (többnyire a munkadarabhordozót, esetleg selejtet, készüléket) a kezdő állomásra vissza kell juttatni.

Ha a szállítóeszköz nincs pályához kötve (pl. kéziszerelésnél targonca, automatizált szerelésnél vezető nélküli kocsi) az állomások elrendezése kötetlen.

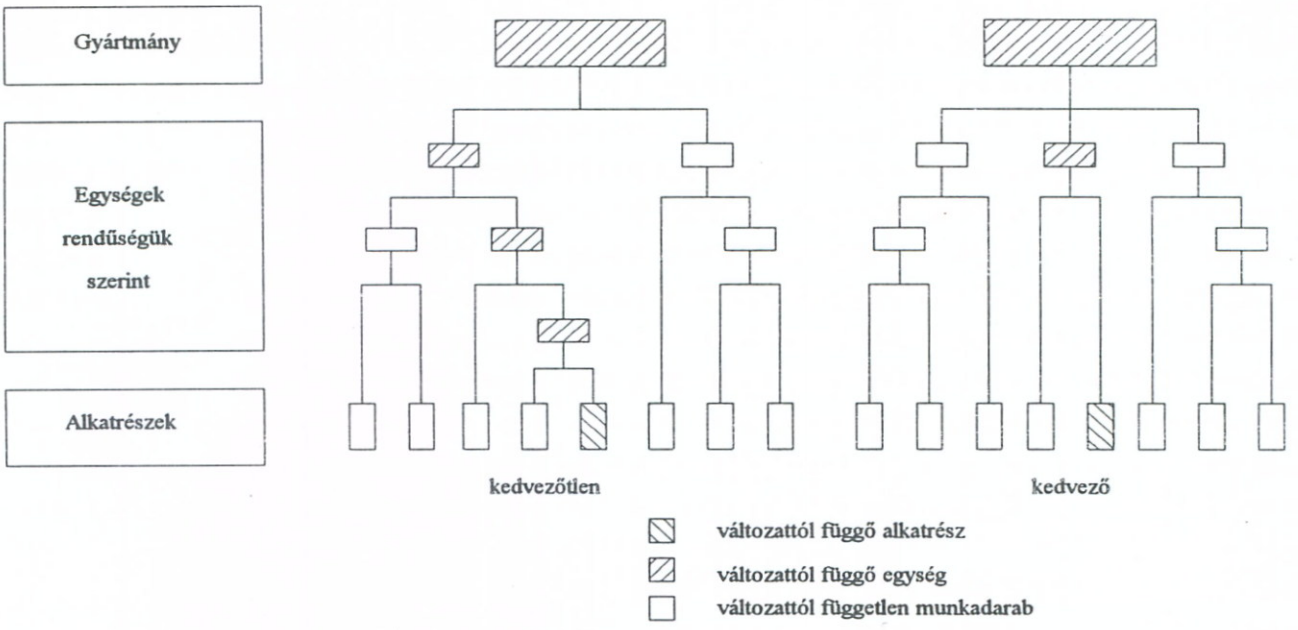


9.17. ábra. A szerelőállomások elrendezésének alapformái

9.2.4. Szereléshelyes konstrukció

Egy szerelőrendszer hasznos kimenete a gyártmány. Ez lehet piacképes termék, vagy egy bonyolultabb termék egyik szerelési egysége. A szerelési egységek rang szerint besorolhatók: a legkisebb rangú csak alkatrészekből áll, a magasabb rendű összetevői között az alkatrészek mellett van nála alacsonyabb rangú egység is. A szerelési egység az összetevők olyan végleges elrendezési állapota, amely a termék egy részfunkcióját teljesíti, a működése kipróbálható és ellenőrizhető, a rendezettségi állapotát külön beavatkozás nélkül megőrzi és a továbbiakban egy munkadarabként kezelhető. A gyártmány struktúráját legáttekinthetőbben a gyártmánycsaládfa szemlélteti (9.18. ábra).

Az egész gyártmányra vonatkozóan a jól szerelhetőség legfontosabb követelménye a szerelési egységekre tagolhatóság, illetve ennek mélysége. Kedvező a szerelvények egységesítése (ugyanaz a szerelvény egy termékcsalád különböző változatába is beépíthető), sőt kereskedelmi egységek használata. Az ábra két változata azt a követelményt szemlélteti, hogy minél több legyen az egységesített szerelvény.



9.18. ábra. A gyártmány családfája, változatok kialakítása

A szerelési egység szereléshelyességének követelménye az alkatrészszám minimalizálása. Ennek hatása a szerelés könnyítésén kívül az alkatrészgyártásban is kedvező. Annak eldöntésére, hogy csökkenthető-e az alkatrészszám, használható a következő módszer. Egy egység minden érintkező alkatrészpárjával kapcsolatban fel kell tenni az alábbi kérdéseket:
Szükséges-e, hogy

1. az alkatrészek egymáshoz képest elmozduljanak?
2. az alkatrészek különböző anyagból készüljenek?
3. gyárthatóság miatt, vagy a karbantartáshoz, javításhoz szükséges szétszerelés végett külön-külön legyenek kialakítva?

Ha válaszok között van egy igen, az alkatrészeket nem lehet egyesíteni.
A bázisalkatrészhez fűződő jól szerelhetőségi követelmények: (Bázisalkatrész az egységnek az alkatrésze, amellyel a legtöbb más alkatrész közvetlenül érintkezik)

- jó helyzetstabilitás,
- rendelkezzék mérési bázissal,
- minimális helyezési irány biztosítása,
- elegendő hely szerszámok használatához,
- egyenes helyező mozgások.

Az összes alkatrészre vonatkozó kezelhetőséget megkönnyítő tulajdonságok: felismerhetőség, megkülönböztetés; megfoghatóság; pozicionálhatóság; rendezést könnyítő felületek.

Végül néhány u.n. szerelésidegen eljárás, amelyet lehetőleg mellőzni kell, de ha ez elkerülhetetlen, a konstrukció megfelelő kialakításával és a szerelés gondos megtervezésével mindent el kell követni a megkönnyítésükre: beszabályozások, forgácsoló eljárások, szétszerelés.

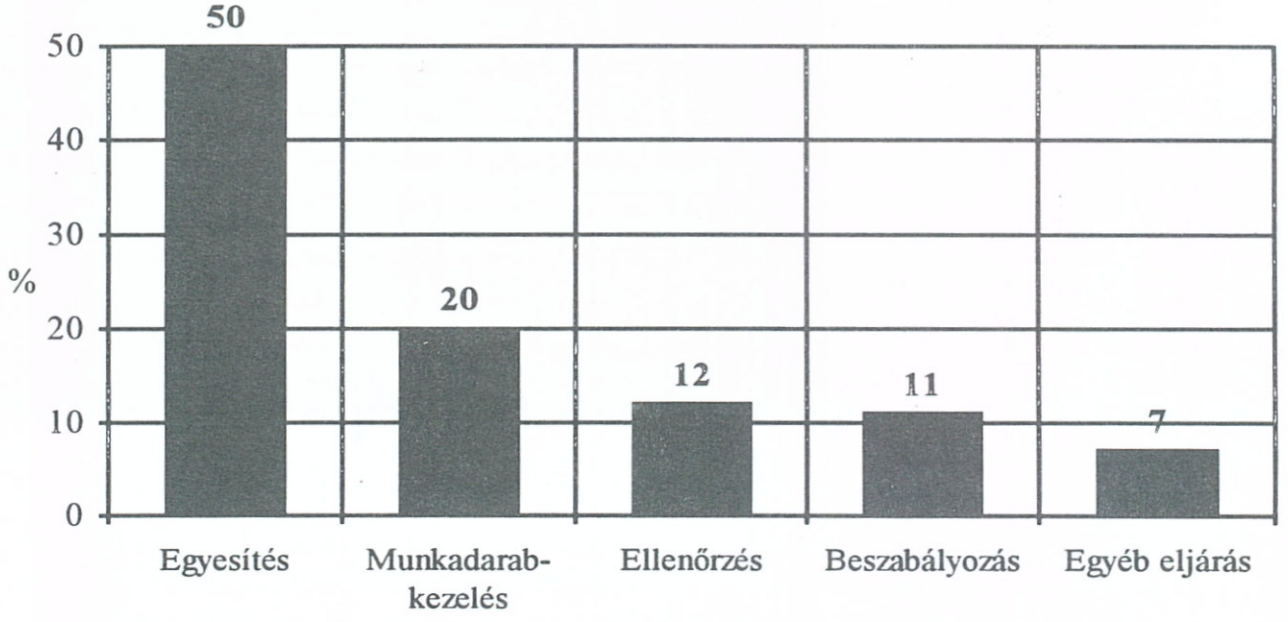
9.2.5. A szerelési folyamat tervezése

Kiindulási adatok, feltételek

Ezek a következők szerint csoportosíthatók:

- Személyzeti adatok: a szerelők létszáma, kor, nem és szakképzettség szerinti megoszlása.
- A gyártmány adatai: típusok, változatok, tömeg, nagyság, anyag, pontosság. Ezeket az adatokat a szerkesztési dokumentáció (darabjegyzék, összeállítási- és műhelyrajzok, gyártmánycsaládfa, átvételi feltételek) tartalmazza. Nagyban segíti a folyamattervezést, ha mintadarab vagy prototípus is rendelkelkezésre áll.
- Termelési adatok: összes darabszám, teljesítési határidők és darabszámok, sorozatnagyságok.
- Meglévő adottságok: üzemi helyiség, berendezések, gyártóeszközök, energiaellátás.
- Jogi kötöttségek: bértarifaszerződés, munka-, környezetvédelmi és biztonságtechnikai előírások.

Az összeállítási rajzok közvetve tartalmazzák a szükséges szerelési eljárásokra vonatkozó információkat is. A különböző szerelési eljárások használatának átlagos gyakoriságát az összes szerelési időhöz viszonyítva a 9.19 ábra mutatja.

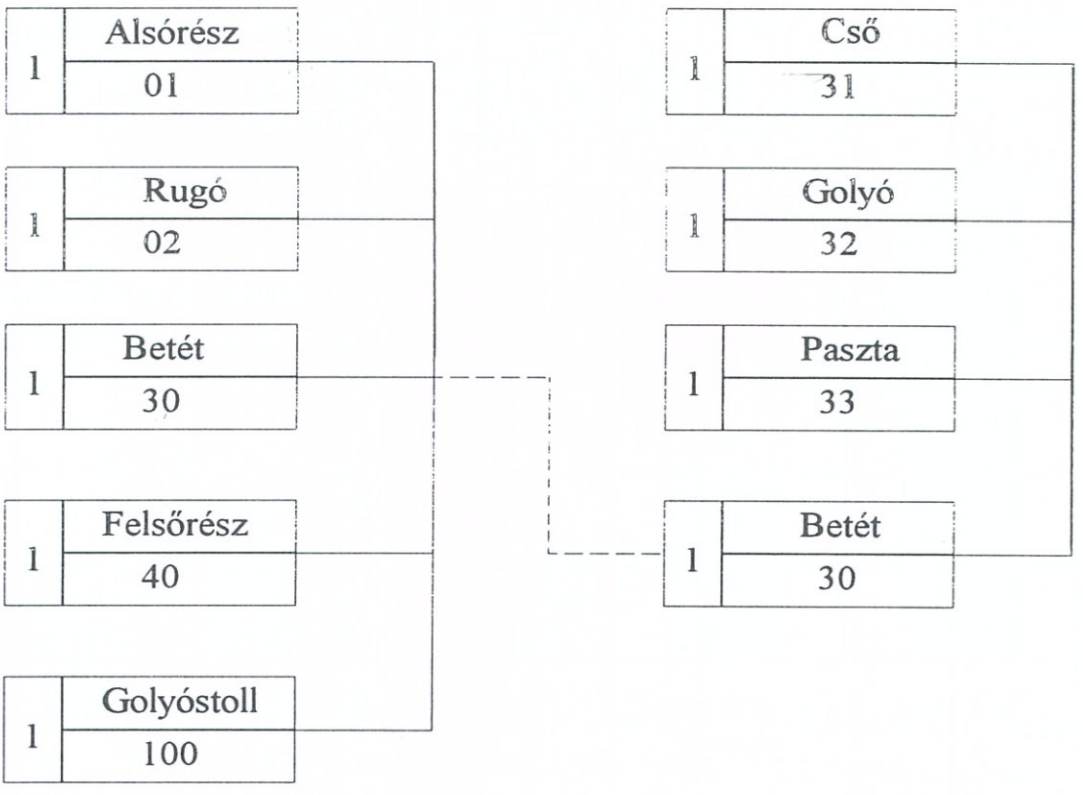


9.19. ábra. A szerelési eljárások átlagos időarányai az összes szerelési időn belül

A tervezés szintjei ugyanazok mint az alkatrészgyártásnál: sorrendtervezés, művelettervezés és műveletelemtervezés.
A tervezés mélysége, illetve részletessége függ a szerelés tömegszerűségétől. Kis- és középsorozatú szerelésnél a tervezés megállhat a sorrendtervezés szintjén. Ez lényegében a folyamat szakaszokra (műveletekre) bontását és munkahelyekhez rendelését jelenti. Nagysorozatú és tömeges szerelésnél, illetve az automatizált munkahelyekre a tervezést minden szintre kiterjedő részletességgel kell végezni.

A szerelési családfa

A gyártmány szerelésének tervezéséhez az összeállítási rajz tartalmazza a legfontosabb kiindulási információkat: Ezek lehetnek közvetlenül kiolvashatók: az alkatrészek összes, illetve fajtánkénti darabszáma: a szerkezet struktúrája (az alkatrészek relatív geometriai elhelyezkedése); pontossági előírások stb. Az információk más része rejtett, csak külön munkaráfordítással olvasható ki: az alkatrészek egyesítésének időbeli sorrendje, az egyesítő eljárás fajtája. A szerelési családfa formai elemeit, készítésének módját a 9.20. ábra kapcsán mutatjuk be, amely egy szokványos golyóstoll szerelési családfája. Egy-egy elemet egy téglalap, illetve a beírt adatok (megnevezés, rajzszám és a beszerelendő darabszám) jellemeznek. Az elem lehet: alkatrész, alaktalan anyag, szerelési egység és termék. Az utóbbiakat, mint összetett munkadarabokat, az elemi összetevőtől kettősvonallal megkülönböztetjük. Az első elem mindig a bázisalkatrész vagy bázisegység, az a munkadarab, amellyel a szerelést kezdjük. A töltőtoll példában az alsórészt fogjuk meg először, és tartjuk mindaddig, míg a többi elemet a megadott



9.20. ábra. Szerelési családfa

sorrendben vele egyesítjük. A darabszám mezőbe az egyszerre szerelendő alkatrészek száma kerül (pl. többcsavaros rögzítés). Ugyanaz az alkatrész viszont a szerelési családfában több helyen is előfordulhat. A szerelési családfa a termék bonyolultságától függően kétféle formában készíthető. Egyszerű tagozódású, kevés elemből álló termékre célszerű az összevont családfa. Ez az összes elemet, részegységet, illetve ezek kapcsolódási sorrendjét ábrázolja. Példánk ennek felelne meg, ha a szaggatott vonal folytonos lenne, ha a baloldali oszlopból törölnénk a "Betét" mezőt, és tartalmazná a "Felsőrész" ágat is. Ilyen ábrázolás százas-ezres nagyságrendű alkatrészre kezelhetetlen és nehezen áttekinthető. Ilyenkor alkalmazzák a szétbontott formát. Ennek felel meg a példánk, ha töröljük a szaggatott vonalat.

Egy gyártmány szerelése úgy is felfogható, hogy rendelkezésre áll az összes alkatrésze külön-külön, és a feladat az, hogy ezt a véletlen elrendezésű halmazt az összeállítási rajzon megadott struktúrává alakítsák. A szerelési folyamat, mint a gépipari folyamatok általában, diszkrét folyamat, fokozatos állapotváltozások összessége. A szerelési családfa lényegében egy gráf: vannak élei és csomópontjai. Az élek metszéspontjai, a csomópontok a szerelés közben alakuló gyártmány egyes állapotainak felelnek meg, az élek pedig valamilyen tevékenységnek, amit a csomópontba befutó éleken feltüntetett alkatrészeken el kell végezni, hogy a kívánt állapot létrejöjjön.

Szerelési sorrend

A sorrendtervezés célja a szerelési folyamat műveletekre tagolása, a műveletek hozzárendelése munkahelyekhez és a műveletek sorrendjének meghatározása.

A szerelési folyamat a feladat végrehajtásához szükséges tevékenységek összessége. Egy gyártmányra a tevékenységek idősorrendben a szerelési családfa alapján határozhatók meg. A családfa mindenegyes eleméhez tartozik legalább egy tevékenység, amellyel a kívánt állapot megvalósítható (pl. csapágyat tengelyre felhúz), de bizonyos esetekben többféle tevékenység is szükséges (zsugorkötésnél: csapágyat felmelegít, felhúz).

A következő lépés a szerelési idő meghatározása. Ezen a szinten elfogadhatók a becsült adatok, egy-egy tevékenység ideje ugyanis nagymértékben függ a munkahely kialakításától, ahol végrehajtják. Márpedig munkahelyek még nincsenek, a szerelési idő éppen a munkahelyek számának meghatározásához szükséges.

A szerelési idő ismeretében számítható a gyártmány kapacitásigénye

$$C = \frac{n t_{gy}}{\eta_r}, \quad [\text{óra/műszak}] \tag{9.16.}$$

ahol C a gyártmány kapacitásigénye időegységre (műszak, hó stb) vonatkoztatva,

t_{gy} egy gyártmány szerelési ideje,
n a vonatkozási időben szerelendő darabszám,
η_r a rendszer kihasználtsági foka.

A rendszer kihasználtsági foka az emberi, műszaki és szervezési zavarokból várható hatást veszi figyelembe. Jól szervezett gyártás esetén 0,8 és 0,9 között választható.

A kapacitásigényt egy megfelelő kapacitásajánlattal kell lefedni. Kézi szerelést véve alapul egy munkahely kapacitása:

$$c_1 = (t_m - t_{sz})\,\eta_m, \qquad (9.17.)$$

ahol c_1 egy munkahely kapacitása ugyanarra a vonatkozási időalapra vonatkoztatva, amellyel a (9.16.) képletben is számoltunk,

t_m az időalapra vonatkozó munkaidő,
t_{sz} törvényes munkaszüneti idő az időegységen belül,
η_m a dolgozók átlagos teljesítménytényezője.

A kívánt munkahelyek száma:

$$m = \frac{C}{c_1}. \qquad (9.18.)$$

Ez a szám a folyamat műveletekre tagolásához csak kiindulási adat. Nem használható az a triviális megoldás, amely a folyamatot m egyenlő részre osztja. A felosztáskor sok egyéb szempontot kell érvényesíteni. Az alábbiakban néhány fontosabbat ismertetünk.

A szerelési tevékenységek nem homogének, hanem eljárás-specifikusak. A különböző eljárások végrehajtására más és más berendezés, eszköz alkalmas. Gazdaságtalan lenne univerzális munkahelyeket kialakítani, tehát ezek egy része is eljárásspecifikus (pl. hegesztő munkahely). A műveletekre tagoláskor biztosítani kell, hogy az egyes folyamatrészek az alkalmazandó eljárás igényei szerint felszerelt munkahelyekre kerüljenek. A kapacitásleterheléskor a szabályok a következők:

- A berendezés-igényes műveleteket eljárásfajták szerint rendeljük munkahelyekre, ami azt jelenti, hogy egy-egy ilyen eljárásspecifikus munkahely a teljes termelés igényeit kielégíti.
- Az alapvetően kézi műveleteket normaóra igény szerint terheljük a munkahelyekre, ekkor a termelésnek csak egy része megy át egy munkahelyen, de párhuzamos munkahelyek szervezhetők.

A műveleti határok a szerelési családfát tekintve nem lehetnek tetszőleges helyen. Kívánatos, hogy egy-egy művelet végén egy egység készüljön el, azaz a gyártmány olyan állapotba jusson, amelyben az elért rendezettség megmarad. Ha ezt nem sikerül megvalósítani, akkor a munkahelyek közötti munkadarab-mozgatáskor mindenképpen, akár ideiglenes rögzítéssel is gondoskodni kell a már elért szerkezeti állapot megtartásáról.

A munkahelyek egyenletes terhelését nehezíti, hogy a tevékenységek időigénye különböző, és a minimális idejű tevékenység, mint elvi határ megszabja a kiegyenlítés pontosságát. A tevékenységek munkahelyhez rendelését mindig a leghosszabb idejűekkel kell kezdeni. Ha az eredeti normaidővel nem integrálhatók a rendszerbe, az alábbi módszerek közül választhatunk: gépesítés, automatizálás, vagy párhuzamos munkahely.

A gyártmány súlynövekedése a szerelés folyamán fokozatos legyen, hogy minél későbbi szakaszban kerüljön sor költségesebb anyagmozgató berendezés alkalmazására.

Ugyanilyen igény támasztható a térfogatra, amelynek kielégítésével csökkenthető az egyes munkahelyek és így az egész rendszer helyfoglalása. Ezt és a megelőző követelményt általában úgy elégítik ki, hogy a gyártmány szerelőrendszerét alrendszerekre bontják. A minimális bontás: előszerelő, illetve végszerelő alrendszer. Előszerelésen a kevés alkatrészből összetevődő, alacsonyabb-rendűségű egységek szerelését értjük, végszerelésen a komplett gyártmányét. Természetesen a megosztás a magasabbrendű egységekre kiterjedően többfokozatú is lehet.

Kötelező külön műveletbe csoportosítani és elszigetelt munkahelyhez rendelni azokat a tevékenységeket, amelyek elvégzése egészségkárosító hatással jár (rezgés, zaj, gázkibocsátás stb).

A műveletek sorrendjének meghatározásához a szerelési családfából kivehetők az előzési feltételek, pontosabban annak a legkésőbbi szakasznak a kezdete, amikor egy bizonyos szerelési egységnek már rendelkezésre kell állni.

A sorrendtervezés iteratív tevékenység, amelynek eredményei - különösen tömeggyártásban- csak akkor válnak véglegessé, ha a műveletтervezés is befejeződött, mert a pontos időadatok csak ekkor állhatnak rendelkezésre.

Durva tervezéskor általában a gyártmányt csak szerelési egység mélységig bontják, és ezek szerelését rendelik részrendszerekhez.

Műveletтervezés

A művelet a szerelési folyamat egy munkahelyen elvégzendő része. Az egy műveletbe sorolható tevékenységeket döntően meghatározza a munkahely alapberendezése és/vagy a szerelő szakképzettsége.

A művelet műveletelemekből tevődik össze. Egy műveletelembe azok a folyamatrészek sorolhatók, amelyekben állandó

- a munka tárgya: alkatrész, alkatrészcsoport, egység stb,
- a szerelési eljárás,
- a szerszám vagy szerelőeszköz.

Ha ezek közül egy is változik, a folyamatrészt más műveletelembe kell sorolni.
A műveletтervezés szintjén megoldandó feladatok:

- A műveletelemek meghatározása.
- Az alkatrészek megnevezésére és rajzszámára hivatkozva az elvégzendő munka leírása.
- A műveletelemek sorrendjének meghatározása.
- Műveletelemenként meg kell határozni a szükséges gyártóeszközöket (szerszám, készülék, mérőeszköz).
- Meg kell adni a felhasználandó segédanyag fajtáját és mennyiségét (tisztítószer, kenőanyag). Fel kell tüntetni azokat az adatokat és

mennyiségeket, amelyek a műveletelem időszükségletét lényegesen befolyásolják: tömeg (mozgatás), felület (tisztítás), hossz (sajtolás, becsavarás) stb.

- Elő kell írni a technológiai adatokat, ha ezek változtathatók, amelyek a megfelelő minőséget biztosítják: csavarbehajtáshoz meghúzási nyomaték, melegítéshez hőmérséklet, ragasztáshoz szorítási idő és erő.
- Az egész műveletre meg kell határozni a darabidőt és a szerelő létszámot.

Ahogy a sorrendtervezésnél, itt is fölmerül a tervezés részletességének kérdése. A feladathalmaz a részletes tervezésre vonatkozik. Ezek megoldása, illetve az eredmények megléte a rendszer működtetéséhez tömeges szerelésnél szükségszerű. A műveleti utasítás, mint eredmény megjelentetési forma elsősorban a szerelő számára készített instrukció, amelynek szükségessége az alábbi esetekben merül fel:

- új munkaerő betanításakor,
- tömeges szerelés felfutásakor,
- új termék szerelésének átvételekor,
- bonyolult műveleteknél.

A betanítás más módon is megoldható, a gyakorlat a feltétlen szükségességet csak bonyolultabb beszabályozási, továbbá ellenőrzési műveleteknél ismeri el. A részletes műveleti utasítások költségessége és a szükségessége közötti ellentmondás feloldására kompromisszumos megoldások is vannak. Egyik tipikus megoldási forma a legnagyobb gyakorisággal előforduló esetekre kidolgozott általános műveleti utasítás. Példaképpen alább közlünk egyet

Műveleti utasítás gördülőcsapágy felhúzásra

1.0 Általános tudnivalók

A gördülőcsapágyak csomagolva a készenléti tároló polcán, a tengelyek a munkahelyi tárolóban találhatók. A készenléti tároló, valamint az indukciós melegítő és a munkahely távolsága max. 5m lehet.

2.0 Műveletelemek

2.1 Csapágyat a polcról levesz és kicsomagol.

2.2 Csapágyat melegítő-berendezéshez visz, behelyez, felmelegít 70-80°C-ra. Túlhevíteni tilos!

2.3 Előmelegített csapágyat azbesztkesztyűvel, fogóval vagy emelőeszközzel a hevítőkészülékből kivesz, és a munkahelyre visz.

2.4 Csapágyat a tengelyre felhúz, majd kalapáccsal tüske v. persely közbetéten át felüt. A felhúzáskor a csapágy nem feszülhet el. Felütéskor a

nyomóerőt tilos az egyik gyűrűről a másikra a gördülő testeken keresztül átvinni. A csapágynak szilárdan és ütésmentesen kell ülni a tengelyen.

3.0 Gyártóeszközök

3.1 Melegítőkészülék

3.2 Fogó

3.3 Emelőeszköz

3.4 Azbeszt munkakesztyű

3.5 Persely

3.6 Tüske

3.7 Kalapács (300-500g).

A szerelési idő meghatározása

A szerelés minden szintjén a feladatok megoldásának lényeges paramétere a szerelési idő. Az idő meghatározásának módszereit a pontosság és a szükséges időráfordítás (költségesség) sorrendjében ismertetjük. A két jellemző egyenes arányban változik: minél pontosabb adatra van szükség, annál nagyobb időráfordítás szükséges a meghatározáshoz.

Becslés, vagy tapasztalati módszer.

A tervező egy gyártmány szerelési idejét a gyakorlatában már előfordult hasonló gyártmányok szerelési idejét alapulvéve interpolációval vagy extrapolációval becsli. Ha ilyen kiindulás nem áll rendelkezésre, akkor fokozatosan bontja a gyártmányt. Minél tovább jut a bontásban, annál nagyobb az esélye, hogy a gyakorlatában hasonló kapcsolódások előfordultak. Az eredmény és a ráfordítás nagy mértékben függ a személytől. A módszer hatékonysága számítógépes vállalati adattárolással, korrelációs adatértékelési eljárások alkalmazásával javítható. Gyakran ismétlődő műveletelemekre (pl. gördülőcsapágy felhúzása tengelyre) normatáblázatok dolgozhatók ki.

MTM módszer

A módszert az évszázad első felében az Egyesült Államokban dolgozták ki, és tömeges szerelés tervezésénél ma is elterjedten használják minden iparilag fejlett országban. Angol neve Methods' Time Measuring. Magyar irodalomban használt neve 3M módszer (Mozdulatelemzéses Munkatanulmányozás Módszere).

Az alkalmazási területére vonatkozóan lényeges megkötés, hogy csak tisztán kézi műveletelemek idejének meghatározására alkalmas. Más oldalról megvilágítva nem használható olyan idők meghatározására, amelyek nagyságát az ember biológiai

képességein kívül eljárásfüggő paraméterek is befolyásolják (pl. kézi hegesztésnél leolvadási sebesség).

A módszer lényege, hogy nagymennyiségű, sokfajta kézi munkavégzés filmfelvételeit elemezve megállapították, hogy bármely szerelési munka-mozdulat 17-féle alapmozdulatra lebontható, illetve ezekből felépíthető. A 17 közül ötnek a gyakorisága akkora, hogy a teljes munkavégzés időtartamát tekintve átlagosan 70%-ban leírható velük a folyamat. Ez az öt alapmozdulat a következő:

- Nyúl Reach R
- Megfog Grasp G
- Mozgat Move M
- Helyez Position P
- Elenged Release RL

A kisebb gyakoriságú alapmozdulatok között szerepel: fordítás; szemrevételezés és szemmozgás; törzs-, láb- és lábfejmozgás stb.

Az alapmozdulatok időszükségletét minőségi és mennyiségi paraméterek is befolyásolják. Ennek figyelembevételéhez minden alapmozdulatot további csoportokra és alcsoportokra bontottak. A bontás nem egységes, példaképpen a mozgatását ismertetjük. Itt a módszer három tényezőt vesz figyelembe.

- Mozgatási kategóriák:
  - A) A tárgyat a másik kézhez vagy ütközőig kell vinni.
  - B) A célhelyzet közelítően meghatározott. Pl. rendezetlenül tárolóba-rakás, dobás.
  - C) A tárgyat pontosan meghatározott (12mm-en belül) helyzetbe kell vinni.
- A mozgatás úthossza cm-ben.
- A mozgatott tárgy tömege kg-ban.

Példa egy mozdulat leírása: M35C4. Jelentése: mozgat 35cm-re pontos célhelyzetbe 4kg tömeget.

A módszer további sajátossága, hogy a tényezők figyelembevételével táblázatokat alakítanak ki, amelyekben egy-egy tényezőkombinációval definiált konkrét mozdulathoz számszerű időadatot rendelnek.

Az MTM időegysége a TMU (Time Measuring Unit).

$$TMU = 10^{-5}\ h = 0{,}036s = 0{,}0006min$$

A módszer alkalmazására a 9.3 táblázat mutat be egy példát.

Mozdulat	MTM kód	Idő TMU
Alkatrészért nyúl	R25C	12,9
Megfog	G4B	9,1
Készülékhez mozgat	M25C	13,5
Készülékbe helyez	P1SE	5,6
Elenged	RL1	2,0
Összes TMU		43,1

9.3 táblázat. Dobozban ömlesztve tárolt acélpersely készülékbe helyezésének időelemzése

A műveletelem ideje: 0,026min.

Az MTM a gyakorlati tapasztalatok szerint több mint egy időmeghatározási módszer. A folyamat igen részletes tagolása, és az objektívnek tekinthető időadatok alapján lehetőséget nyújt a kézi műveletelemek optimálására, illetve azok fokozatos gépesítésére/automatizálára, amelyekkel a legnagyobb hatékonyság érhető el. Ilyen elemzés az alábbi követelmények kielégíthetőséget vizsgálja:

- a lehető legkevesebb mozdulat,
- a mozdulatok egyszerűsége, természetessége, úthossza,
- a kapcsolódások természetessége,
- a legkisebb erőszükséglet.

A követelmények kielégítése iteratív eljárás. Végrehajtásához általában szükséges a munkahely átrendezése, sokszor a konstrukció módosítása is.

Hátránya a módszernek az igen nagy tervezői időráfordítás. Még nagy gyakorlattal rendelkező időelemző esetében is -a tapasztalat szerint- nagyobb, mint az eredményidő háromszázszorosa.

Időmeghatározás számítással

Minden gépesített, automatizált tevékenység időszükséglete - hasonlóan az alkatrészgyártásban alkalmazott módszerekhez - kinematikai és/vagy eljárásfüggő képletekkel határozható meg.

Felhasznált irodalom:

[1] Bálint Lajos: A Forgácsoló megmunkálások tervezése.
Műszaki Könyvkiadó Budapest, 1958.

[2] Dr.Erney György: Fogaskerekek.
Műszaki Könyvkiadó Budapest, 1983.

[3] A Gépgyártás technológiája.
II. Gyártástervezés. Tankönyvkiadó, Budapest 1964.

[4] Dr. Kalászi István: A gépgyártás technológiája, III. Tömeggyártás,
Tankönyvkiadó, Budapest, 1981.

[5] Spur, Günter: Handbuch der Fertigungstechnik, Bd.5. Fügen, Handhaben und Montieren.
Carl Hanser Verlag München Wien 1986.

[6] Németh Tibor: Gépipari szerelés,
Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1981.

10. GYÁRTÁSI FOLYAMATOK TERVEZÉSE

A technológiai tervezés egyidős az emberi munkával. A szerszámkészítő ember végiggondolta az eszköz elkészítésének és alkalmazásának folyamatát is. Ebben az ösztönös tervezőmunkában a hangsúly a szerszámkészítés folyamatán volt, mint ahogyan - viszonylagos bonyolultsága miatt - a munkának is nagyobbik része esett az eszközök készítésére.

A szerszámok készítése és alkalmazása a társadalmi munkamegosztás fejlődése során elkülönült egymástól, sőt az egyre bonyolultabb gépesített szerszámok, azaz a szerszámgépek megjelenésével kialakultak a szerszámgyártás speciális eljárásai is, de egészen a XIX. század végéig nem vált el a szerszámkészítés és a technológiai tervezés a gyártástól: a szakmunkás maga élezte a szerszámot és tervezte meg a megmunkálás, a szerelés folyamatát is.

A technológiai tervezés első forradalma a XX. század első évtizedében zajlott le a tömeggyártás elterjedésének részeként. Ekkor vált ugyanis külön a technológiai tervezés a gyártástól és ekkor lett a tervezés tudatos mérnöki tevékenység. Ebben az időben a tervezés és a szervezés még egységes egész. Ezt F. W. Taylor munkássága példázza, akinek nevéhez fűződik az első kísérlet a tervezés és szervezés tudományos igényű megközelítésére is.

A későbbiekben a tapasztalatokat, a mérnöki intuíciót a tervezésnek egyre több csomópontján a tudatosság, az egzakt modellek és számítások váltják fel.

Balaksin a méretláncok elméletével tudományosan megalapozta a helyzetmeghatározást és a bázisválasztást, Szokolovszkij, Kovan és Korszakov a megmunkálási hibák számítását és tervezését, Kovan a ráhagyások meghatározását és elosztását a megmunkálások között.

A technológiai tervezőmunka a gyártás műszaki előkészítésének szűk keresztmetszete lett. Már a számítógépek előtti korszakban több kísérlet született a tervezés termelékenységének növelésére. Ezek sorából kiemelkedik Szokolovszkij munkássága, aki kidolgozta az alkatrészek tipizálásának módszerét és rendszerét, a típustechnológiák elvét és technikáját.

Mitrofanov érdeme, hogy a típustechnológiát értelmezni tudta konkrét gyártási környezetre és kiterjesztette azt a gyártásra is, megalkotva a csoporttechnológia (Group Technology) elvét, módszerét, gyakorlatát. A csoportmegmunkálás nem csak a tervezés, hanem a gyártás termelékenységét is növeli. Sajnos, adekvát technikai eszközök hiányában a típus- és csoporttechnológia módszere a hetvenes évekig széles körben nem terjedhetett el.

A technológiai tervezés második forradalma a számítástechnikához kapcsolódik és fő jellegzetessége a tervezőmunka részleges automatizálása. A számítógép jelenti a tervezés adekvát eszközét teljesítőképesség, pontosság és információs háttér szemszögéből, de a számítógép hat kényszerítő erővel az egzakt modellek, megoldási módszerek, a

tervezésmetodika, a tervezéselmélet megalkotására is. A számítógéppel segített technológiai tervezés egyik indítékát a numerikus vezérlésű szerszámgépek programozása szolgáltatta. A szerszámpályák tervezésére kidolgozott APT rendszerrel D. T. Ross máig ható irányt szabott a feladatleíró- és közbenső nyelvek, a geometriai modellezés, a tervezőrendszerek felépítése terén. G. K. Goranszkij végezte el az úttörő munkát a technológiai számítási és döntési feladatok automatizálásában.

Ma a technológiai tervezés automatizálását a rendszerek népes családja szolgálja a hazai iparban is. Ezek egyrésze egyszerűbb vagy összetettebb NC processzor, más része csak a hagyományos technológiai környezetet szolgálja. Megjelentek az ipari alkalmazásban az első integrált tervezőrendszerek is, amelyek NC és hagyományos gépekre egyaránt képesek megmunkálási folyamatokat tervezni, sőt esetenként a gyártóeszközöket és azok gyártási technológiáját is megtervezik.

Napjainkban a technológiai tervezés harmadik forradalmának kezdeti szakaszát éljük. Az új forradalom az intelligens integrált gyártórendszerek, a felügyelet nélküli - vagy német szóhasználat fordításával élve a felügyeletszegény - gyártás fejlesztésével és egyre bővülő alkalmazásával kapcsolatos. E korszak legfontosabb jellemzője, hogy a technológiai tervezés és a gyártás teljes elkülönülése újból megszűnik. A gyártmánytervezés, a technológiai folyamatok és gyártóeszközök tervezése, a termelés programozása és irányítása, a minőség szabályozása nagy összetett rendszerré épül össze. A technológiai tervezés a gyártáshoz képest részben előidejű marad, részben azonban valósidejű funkcióvá válik, amennyiben a gyártórendszert és az egyedi gépeket irányító számítógépeknek alkalmasaknak kell lenniük a berendezések és folyamatok állapotának megítélésére, a hibák automatikus diagnosztizálására és elhárítására, a folyamatok részleges áttervezésére.

Túlzás nélkül állíthatjuk, hogy a numerikus vezérlés - amely ma már a számítástechnikához hasonlóan a mikroelektronikára épül - az automatizálás második forradalmát robbantotta ki. Az NC szerszámgépek, gyors és pontos pozícionáló képességük, a bonyolult mozgások könnyű kivitelezhetősége és az egyszerű, szabványos szerszámok alkalmazhatósága, valamint a papíron vagy mágneses adathordozón rögzített szimbólumokban megtestesült, olcsón és gyorsan változtatható programok révén a gyártás gazdaságos automatizálásának eszközeivé váltak a tömegszerűség minden tartományában. Az NC technika az adaptív irányítással párosulva már-már a szakmunkást is helyettesíti, hiszen képes az optimális megmunkálási feltételek meghatározására és beállítására. Az intelligens CNC vezérlések egyszerűbb tervezési funkciókat is ellátnak a mozgáspályák valósidejű generálása révén.

Átfogó adatbázis megteremtésével, a gyártmány- és gyártóeszköztervezés, a technológiai tervezés, a felügyelet, a hibaelhárítás és a minőségszabályozás bizonyos elemeinek automatizálásával az integrált gyártórendszer már CIM rendszerré teljesedik ki.

A számítógép ügyviteltechnikai, vállalatirányítási alkalmazása az NC technikától függetlenül indult s ma is annál sokszorta szélesebb területet ölel fel. Az automatizált vállalatirányítási, termeléstervezési, - ütemezési és programozási rendszerek viszont csak akkor hatékonyak, ha megbízható adatokra építenek. Az adatok jó része - anyag,

költség- és időnormák, berendezések alkalmazása stb - a technológiai tervezés terméke, ha ilyen tervezés egyáltalán folyik. Az egyedi, a kis- és középsorozatgyártásban a technológiai tervezés kézi módszerekkel nem oldható meg, ezért ilyen környezetben a termelésirányítási rendszerek nem voltak hatékonyak. Mivel a teljes gépipari termelés 70-80 %-át éppen az alacsony tömegszerűség jellemzi, a termelésirányítási rendszerek kikényszerítették a technológiai tervezés számítógépesítését, mindenekelőtt a költség-, anyag- és időnormák, a gépterhelési adatok előállítását hagyományos gyártási környezetben is.

A számítógéppel segített technológiai tervezőrendszerek először csak az NC programozást segítették. Ezek sorában az APT olyan iskolát teremtett, amely ma is meghatározza a technológiai tervezőrendszerek számos fontos vonását. Lényegében nem más mint egy fordítóprogram, amely átalakítja és részletesen kifejti az egyezményes, szabad formátumú nyelven írott definíciókat és technológiai utasításokat. Ugyanakkor azonban Ross munkássága iskolát teremtett a leírónyelvek szintaxisa, a horizontális és vertikális nyelvstruktúra, az alapszintü geometriai modellezés, a processzor-posztprocesszor elv és CLDATA-val jelzett rendszerstruktúra megalkotásával. Az APT az ún. APT-szerű rendszerek egész családját indította útjára, amelyek legnagyobb jelentősége egyrészt abban mérhető le, hogy kiterjesztették a számítógép alkalmazását egyszerűbb megmunkálások és szerszámgépek programozására, másrészt pedig abban, hogy - megőrizve az APT külső jegyeit és belső struktúráját - technológiai tudással töltötték meg az NC programozást.

Goranszkij munkássága jelenti a számítógépes technológiai tervezés indítását a hagyományos gyártás területén. A két vonulat - az NC programozás és a hagyományos gépek technológizálása - csak napjainkban válik egységes egésszé s ebben nagy szerepe volt Goranszkij, majd később Cvetkov tudományos eredményeinek. Goranszkij a technológiai adatok optimálásával és az időnormák számításával kezdett s szinte forradalmasította a gazdaságos gyártásra vonatkozó nézeteket. Elvetette a Taylor által bevezetett "gazdaságos éltartam" fogalmát, sőt szakított az egyszerű szélsőérték számítással meghatározott "optimális éltartam" elméletével is és először fogalmazta meg matematikai egzaktsággal mind a feladatot, mind a megoldás optimalitásának kritériumát. Ennek érdekében azonban újra kellett fogalmaznia dogmaként tisztelt nézeteket.

A technológiai tervezés automatizálásának ez a sajátossága a mai napig érvényes, sőt bizonyára sokáig az is marad, miután nem volt a tervezésnek igazi elmélete, módszertana, a technológusok korábban nem operáltak egzakt modellekkel, megoldási módszerekkel, értékelési, becslési technikákkal. A tervezés automatizálása - különösen a magasabb szinteken - több a rutinmunkák gépesítésénél. Az automatizált technológiai folyamattervezés a gépgyártástechnológia tudományának fejlesztését jelenti és feltételezi, mivel minden újabb programmodul, adatbázisrészlet számítógépre vitele előtt az alapokig visszanyúlva tisztázni kell a probléma elméleti hátterét.

Ma már a tervezés minden szintjére - műveleti sorrend, művelet, műveletelem - léteznek használható rendszerek, legalábbis bizonyos gyártási környezetre és bizonyos alkatrésztípusokra.

A technológiai tervezés automatizálásában kiemelkedő szerepet játszottak az európai országok. A német EXAPT rendszerben bővültek először az APT geoemtriai képességei a technológiai adatok számításának és az egyszerűbb szerszámok automatikus kiválasztásának lehetőségeivel. A magyar FORTAP rendszerben valósult meg először az NC esztergák teljesen automatikus programozása, a szintén hazai TAUPROG rendszerben pedig forgástest jellegű alkatrészek teljes gyártási folyamatainak számítógépes tervezése.

10.1. A tervezés szintjei és feladatai

A gyártási folyamatok tervezése sokszintű, soklépcsős folyamat kézi és számítógépes tervezés esetén egyaránt. A tervezés mélysége, azaz a gyártási dokumentációk részletessége, ábrázolási formája és a programhordozó típusa függ a gyártás tömegszerűségétől, a berendezések irányítási rendszerének (vezérlésének) típusától, a vezérlés automatizáltsági szintjétől, a gépkezelő szakképzettségétől stb.

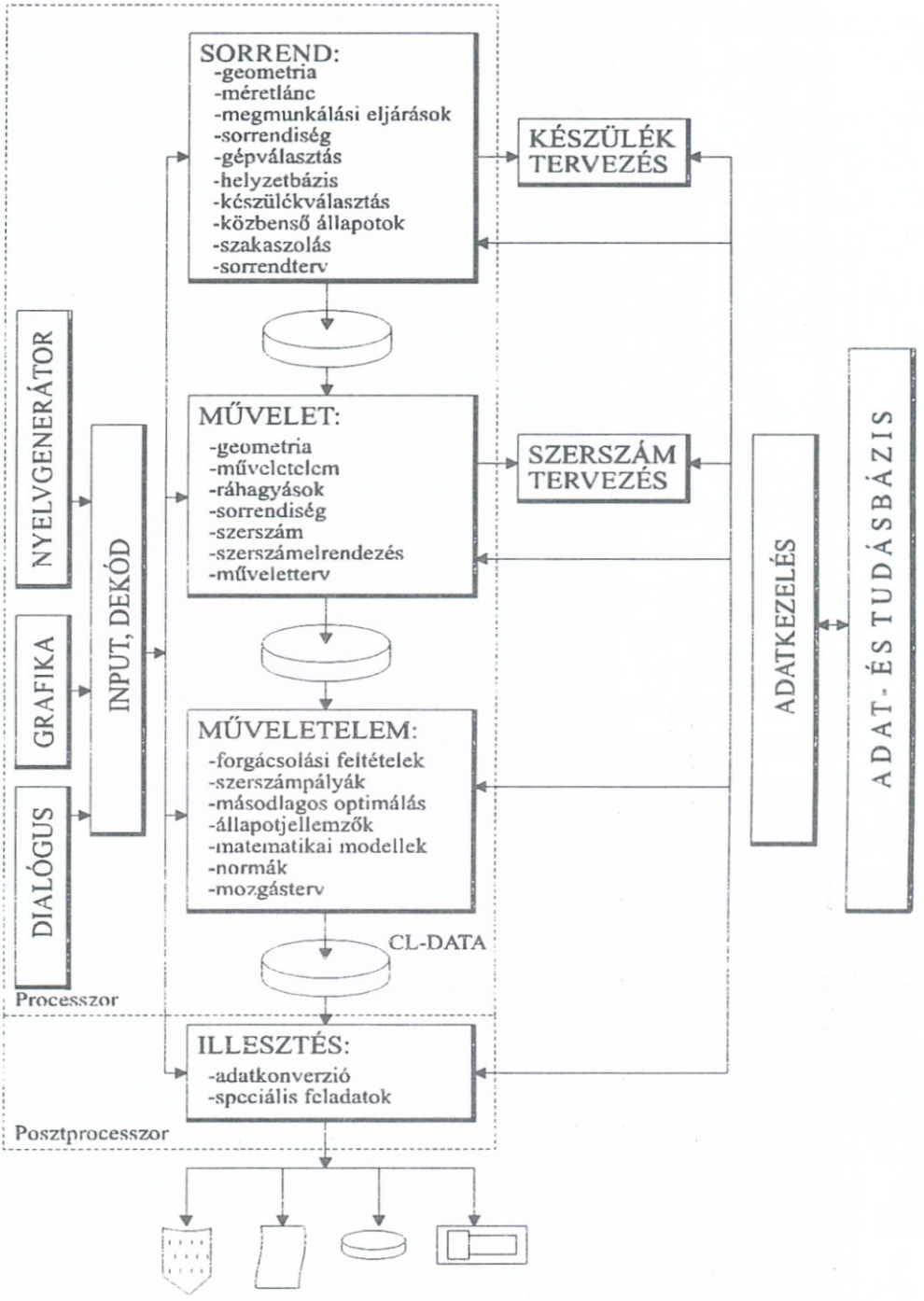
Az alkatrészgyártás technológiájának (folyamatainak) tervezését általában négyszintű, négylépcsős folyamatként fogjuk fel. (10.1. ábra)

A vázlat a számítógépes tervezés esetét tünteti fel, kézi tervezéskor a nyilvánvalóan számítógépes rendszerelemek (dialógus, adatkezelés, input-dekód stb) természetesen elmaradnak. A tervezés részfeladatai természetesen ugyanazok kézi és automatizált tervezéskor, legfeljebb végrehajtásuk sorrendje, megoldásuk módszeressége nem azonos. A technológus sok mindent rutinból csinál, összevont, komplex döntéseket hoz intuitív módon, tapasztalatok, helyi szokások alapján. A számítógépes tervezőrendszer viszont a módszeres algoritmusokon alapszik.

Mi a legfelső tervezési szintnek, a legelső lépcsőnek a gyártási sorrend meghatározását tekintjük, másodiknak a műveletтervezést, harmadiknak pedig a műveletelemek részletes kifejtését (mozgásfeltételek és mozgáspályák). A negyedik szint, az illesztés a számítógépes rendszerek eleme. A posztprocesszor illeszti az egyezményes alakban elkészült terveket a vezérlés utasításrendszeréhez, míg a technológus "kézzel" eleve abban fogalmazza meg a műveleti utasítást vagy az NC programot.

A tervezés nem mindig terjed ki minden részfeladatra; ha magasabb szinten fejeződik be, akkor a későbbi lépcsők által képzendő információt normatív adatokkal pótolják.

A **sorrendtervezés** szintjén a geometriai feldolgozás feladata a méretláncok elemzése, a kész alkatrész és az előgyártmány közötti különbségek, azaz a gyártási igények meghatározása, a gyárthatóság vizsgálata. A felületcsoportokra értelmezett igények alapján történhet meg a gyártási eljárások kiválasztása, a bázisok és a befogási feltételek meghatározása, a készülékek kiválasztása vagy tervezése, a gépek kiválasztása. A gyártási feladatok és a gépek technológiai lehetőségének birtokában nyílik mód a folyamat műveletekre való tagolására és a munkadarab műveletközi állapotainak meghatározására. Az optimális gyártási sorrend függ a berendezések sajátosságaitól, az aktuális gazdasági céltól. A szintet a legjobbnak ítélt **sorrendtervi változatok** szerkesztése zárja.



10.1. ábra: Technológiai folyamattervezés blokkdiagramja

A **műveletterv**ezés is geometriai feldolgozással indul. Ebben a lépésben alakulnak át végessé a végtelennek definiált geometriai elemek, kiegészülnek a hiányos definiciók, majd kialakul egységes, kanonikus ábrázolásuk. Itt alakulnak ki a műveleten belüli közbenső munkadarab állapotok is. A gép lehetőségeinek ismeretében történik meg a műveletelemek és azok primer sorrendjének meghatározása, a ráhagyások elosztása, miközben generálódnak a szerszámválasztási igények és feltételek. Ezek alapján valósul meg a szerszámok, mérőeszközök választása, vagy tervezése, majd a szerszámok elrendezése a tárban és/vagy a revolverfejben. A műveletelemek végső, optimális

sorrendje függ a szerszámelrendezési tervtől és apró módosításokat tesz szükségessé a műveletelemek ráhagyásain. A szint végeredménye a jól szerkesztett **műveletterv.**

A **műveletelemek tervezése** az optimális technológiai paraméterek számításával indul, mivel azok egyike - a fogásmélység - a szerszámpályákat is befolyásolja. A szerszámpályák részint üresjárati, részint megmunkálási mozgásciklusokat jelentenek.

A **pályagenerálás** bizonyos esetekben többlépcsős, összetett feladat. Szoborszerű, nem analitikus felületek esetében először képezni kell a pontsorhoz, ponthálóhoz simán illeszkedő görbe felületet, majd a gép interpolációs lehetőségeinek, a szerszámok geometriai jellemzőinek figyelembevételével kell megtervezni a szerszámpályákat úgy, hogy a munkadarab pontossága az előírt tűrésen belül legyen.

Magasabbrendű optimumfeltételek (ütemidők betartása, szerszámkopások szinkronizálása, nyereségráta maximalizálása stb.) esetében szükséges a technológiai adatok másodlagos optimálása.

A véglegesként elfogadott fogásmélység, előtolás és forgácsolási sebesség ismeretében számíthatók a normaidők, a folyamatjellemzők (erő, teljesítmény, hőmérséklet, kopásintenzitás, rezgések stb.) normális, deviáns és kritikus értékei, amelyek a folyamatfelügyelet, a diagnosztizálás és hibaelhárítás számára szükségesek, s állítható elő a folyamat matematikai modellje, ami viszont az esetleges adaptív irányítórendszer működéséhez szükséges. A műveletelemek tervezésének eredményeként készül el az egyezményes formában szerkesztett **mozgásterv**.

Az **illesztőprogram** (posztprocesszor) feladata konvertálási feladatokra korlátozódik, ha a processzor (a három felső szint) a fent leírtak szerint működik. Előállítja a vezérlés, a gépkezelő számára szükséges listákat, programhordozókat.

Kézi vezérlésű szerszámgépek alkalmazásakor a műveletelem tervezési szintjéből csak a technológiai adatok meghatározását végzik el. Ezekkel az adatokkal kiegészítve a művelettervet,elkészítik a **műveleti utasítást**.

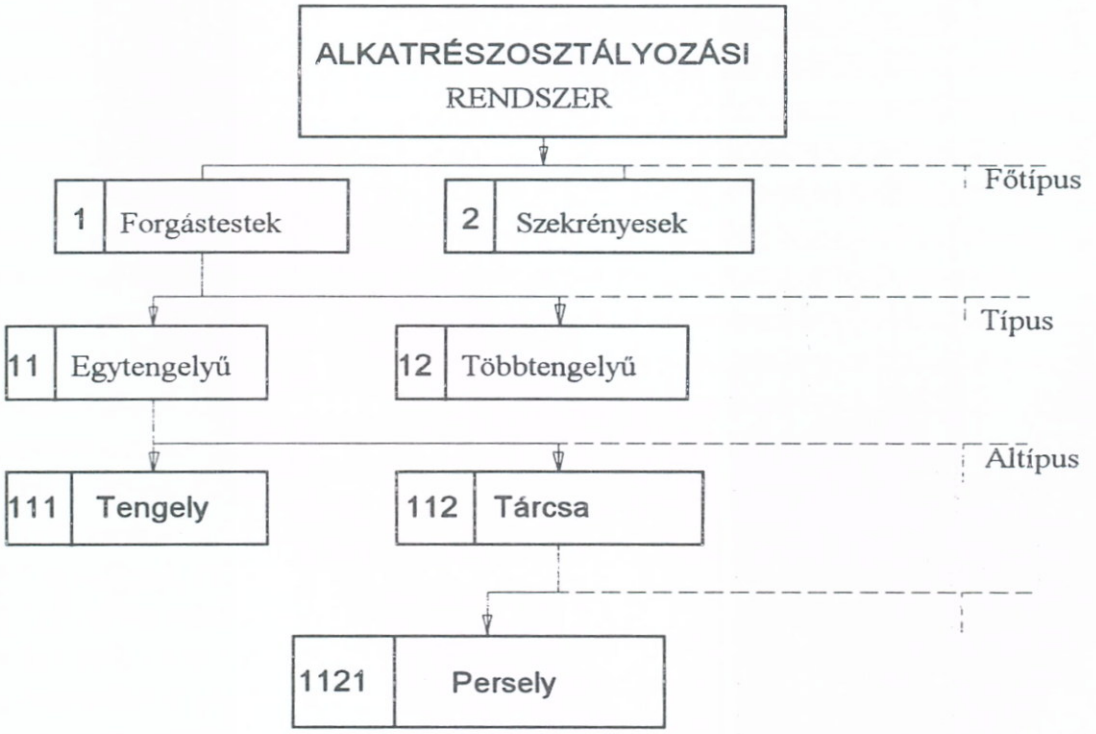
A gyártási sorrendterv (műveletirányítási lap), a műveletterv és a műveleti utasítás a "hagyományos" gyártás legfontosabb dokumentumai. A mozgásterv az automatákhoz és a CNC szerszámgépekhez készül.

10.2. Egyedi, típus- és csoporttechnológiák

A gyártási folyamatok tervezésének tárgya leggyakrabban egy-egy termék, alkatrész. Egyedi tervezésnek és egyedi gyártási folyamatnak nevezzük ezt az esetet. A gyártási terv színvonala a tervező technológus képességeitől, a vállalati információs rendszer színvonalától függ. A kiválasztott és megtervezett gyártási folyamat csak az adott termék darabszámát figyelembe véve vizsgálja a gazdaságosságot, s hasonló termék gyártásának tervezésekor a technológus lényegében semmit sem használt fel az előzményekből. Szokolovszkij ismerte fel, hogy szükséges és lehetséges a gyártási tervek színvonalának egyenletességét és a technológus tervezőmunkájának "termelékenységét" fokozni és javasolta a **típustechnológiák** kidolgozását és alkalmazását. Módszerének lényege

egyfelől az alkatrészek osztályozása, tipizálása és egy numerikus **alkatrész osztályozási rendszer** kidolgozása, másfelől a kor technológiai színvonalát tükröző "típustechnológiák" elkészítése több változatban, a legfontosabb alkatrésztípusokra, a jellegzetes tömegszerűségi esetekre, a különböző automatizáltsági szintű berendezésekre.

Az **alkatrész osztályozási rendszer** a gépipari alkatrészeket osztályokba, fő- és altípusokba sorolja alakjuk, méretük, jellegzetes felületük, anyaguk, anyagállapotuk stb szerint. (10.2. ábra) Alapvető főtípusok a forgástestek, a tömbszerű, a szekrényszerű alkatrészek, lapok, lemezek. A főtípusokon belül típusokat, altípusokat különböztetnek meg, finomítva a másodrendű felületekkel, kiegészítve egyéb információkkal. Pl: forgástest-tengely-fogazott, bordázott, átmenő furattal, közepes mérettartományban, acélból



(ld. 2.1. ábra)

10.2. ábra: Alkatrészosztályozási rendszer strukturája

készült, nemesített, cementált stb. A numerikus kód általában 10 számjegyet tartalmaz. Hosszabb a kód speciális alkalmazások és célok esetében, pl. ha a CNC gépekhez való finomabb besorolás a cél. Házi, ágazati, regionális, országos osztályozási rendszerek léteznek, utóbbiak ajánlás jelleggel. Iparunkban az Opitz féle rendszer terjedt el.

A típustechnológia alkalmazásakor a technológus feladata az általános érvényű, környezetfüggetlen terv adaptálása és konkretizálása: behelyettesíti a konkrét méreteket, berendezéseket, gyártóeszközöket, gyakran felhasználva az előre elkészített műveleti utasítás "vak"-lapokat.

Mitrofanov fejlesztette tovább a típustechnológiát **csoporttechnológiává.** Felismerte, hogy a gépiparban a legnagyobb ipari országokban is - a termékek és alkatrészek 70-80 %-a egyedi - és sorozatgyártásban készül. Ha az alkatrészeket önálló egyedekként kezeljük, akkor az adott - általában alacsony- darabszámhoz tervezünk gazdaságos

technológiát, amelynek termelékenysége alacsony. Gyűjtsük össze az azonos típushoz tartozó gyártandó alkatrészeket egy-egy **csoportba**, **alkatrészcsaládba**.

Válasszuk ki azt az alkatrészt (vagy tervezzünk olyat), amely rendelkezik az összes "családtag" minden tulajdonságával.

Nevezzük ezt az alkatrészt **vezér-** vagy **reprezentáns alkatrésznek.** Vegyük a családtag munkadarabok együttes darabszámát, azaz

$$N = \sum_{i=1}^{n} m_i ,$$

ahol:

n = a családba sorolt alkatrészegyedek száma,
m_i = az **i**-edik egyed gyártandó darabszáma.

Tervezzünk a vezéralkatrészre gyártási folyamatot, úgy, mintha abból N darabot kellene gyártani, ésszerűen felhasználva az adott esetre alkalmas típustechnológiát.

Csoportosítsuk a berendezéseket úgy, hogy egy-egy gépcsoport ésszerű összetételben és elrendezésben feleljen meg egy-egy vezéralkatrész gyártási igényének és sorrendjének, azaz hozzunk létre zárt gyártási ciklust, gyártócellát, gyártórendszert egy-egy család gyártására. A gyártásban minden munkadarab önálló egyedként jelenik meg, gyártási folyamatát a vezéralkatrész folyamatából képezzük le: módosítjuk a gépbeállítást a konkrét műveletekhez, kihagyunk felesleges műveletelemeket, lecseréljük az alakos szerszámokat. A csoporttechnológia tehát nem más, mint a típustechnológia alkalmazása a tervezésben és a gyártásban az alkatrészek egy családba tartozó csoportjára, az adott családhoz rendezett, telepített gépcsoportban. Alkalmazásának előnye kézenfekvő: termelékenyebb és olcsóbb, magasabb automatizáltsági szintű gyártási folyamatokat alkalmazunk, mivel N és nem m_i darabszámra tervezünk. Növekszik a gyártás "relatív" tömegszerűsége.

A csoporttechnológia (angolul Group Technology, GT) általánosan elterjedt, különösen azután, hogy a számítástechnika könnyíti az alkatrészosztályozást és kódolást, a csoporttechnológiák tárolását, visszakeresését és adaptálását. Alkalmazzák ma már a CNC gépek programozásában is: a csoport-programok parametrikus formában írják le a szerszámmozgásokat, a konkrét munkadarab méretek behelyettesítésével a programokat aktualizálják az adott esetekre.

10.3. Számítógéppel segített folyamattervezés (CAPP)

A technológiai tervezés ma már elképzelhetetlen számítógép alkalmazása nélkül. A gyakorló technológust sok-sok mérnökévnyi munkával kifejlesztett tervezőrendszerek segítik. A technológus mérnök ezeknek általában nem csupán passzív alkalmazója, hiszen a rendszereket a környezeti feltételekhez rendszerint adaptálni kell, esetleg speciális funkciókat ellátó modulokkal kiegészíteni. Ezért fontos, hogy a mérnök ne csak a minimális alkalmazói ismereteknek legyen birtokában, hanem ismerje a rendszerek felépítését és a legfontosabb részfeladatok megoldásának módszerét is.

Az egyes eljárások különböznek egymástól a munkadarabon eredményezett állapotváltozások mértékében, a létrehozott állapotok paramétereiben, a munkadarab kiinduló állapotával szemben támasztott követelményekben, termelékenységben, fajlagos költségben egyaránt.

Másfelől viszont ugyanolyan állapotváltozások létrehozhatók különböző eljárások segítségével. Ez annyit jelent, hogy egyrészt egy-egy állapotváltozáshoz több eljárás is rendelhető, másrészt az alkatrészgyártás ilymódon előálló különböző változatai a munkadarab diszkrét állapotaiban és az állapotváltozások, átmenetek számában is eltérhetnek egymástól.

Minden eljárás sokféle berendezésen, különböző gyártóeszközökkel valósítható meg. A berendezések és gyártóeszközök technológiai teljesítőképessége (termelékenység, alkalmazható eljárások száma, minőségi mutatók stb.) és költségjellemzői is széles határok között változnak.

A különböző eljárások, berendezések és gyártóeszközök alkalmazásának költségösszetétele egymáshoz képest változó és jelentősen módosul a gyártás tömegszerűségének függvényében is. Ez a körülmény azt eredményezi, hogy alkalmazásuk gazdaságossági jellemzői változnak attól függően,hogy egyedi, kis-közép-nagysorozat, vagy tömeggyártásról van-e szó. Ugyanakkor a gazdaságos alkalmazás tartományai a legtöbb esetben egyértelműen nem jelölhetők ki.

Az eljárások, berendezések, gyártóeszközök termelékenysége és önköltsége általában nincsen összhangban egymással. Éppen ezért a konkrét gazdasági cél függvényében más és más technológiai változatokat és az alkalmazott eljárások más paramétereit kell előnyben részesítenünk.

A gyártási folyamatnak tehát egy-egy adott technológiai lehetőségekkel jellemzett környezetben is nagyon sok műszakilag azonos, gazdasági tekintetben viszont különböző értékű változata tervezhető meg. E variánsok különbözhetnek egymástól az alkalmazott eljárásokban, azok sorrendjében és paramétereiben, berendezésekben és gyártóeszközökben, a folyamat szakaszolásában. Ez teszi a gyártás tervezésének automatizálását rendkívül bonyolulttá.

A technológiai tervezés különböző jellegű, típusú részfeladatok megoldásának sokaságát jelenti. A feladatok különböznek egymástól az alkalmazott alaptudományokban, a matematika és a természettudományok alkalmazott fejezeteiben, a megoldások általánosságában és környezetfüggőségében, a modellek egzaktságában, méreteiben, a tervezéshez szükséges tudás és információk teljességében vagy hiányos voltában, az alkalmazott tervezési műveletekben.

Nagyon durva általánosítással a technológiai tervezés közben felmerülő feladatokat az alábbi típusokba sorolhatjuk:

- **Geometriai** feladatok, amelyek a teljes munkadarab, vagy meghatározott felületei teljes definiálására, a közbenső geometriai állapotok meghatározására, a ráhagyások elosztására, ütközésvizsgálatokra, különböző objektumok (gép, munkadarab, készülék, szerszám) síkbeli, térbeli és egymáshoz viszonyított elrendezésére stb. szolgálnak.
- **Aritmetikai** feladatnak tekintünk minden olyan nem geometriai számítási, méretezési feladatot, amelynek eredménye valamilyen szám,

paraméter. Ide soroljuk tehát a mechanikai (statikai, kinematikai, dinamikai, szilárdságtani), hőtani, áramlástani, tribológiai, gépelemtervezési, forgácsoláselméleti stb. feladatokat. A tervezés automatizálása szempontjából a geometriához hasonlóan nem okoznak nagyobb gondot. Nehézség akkor keletkezik, ha a feladat nagyméretűvé válik (pl. véges elemek módszere). A tervezés kézi, vagy automatizált voltától független az a probléma, hogy a folyamat bonyolultsága miatt a megoldások explicit formában nem mindig állíthatók elő (pl. rezgések, alakhibák).

- **Döntés**. A legjobb megoldás kiválasztása a lehetségesek közül egzakt következtetéssel, vagy heurisztikus módszerekkel. Az optimalitás feltétele matematikai szigorúsággal nem mindig fogalmazható meg, vagy az optimális megoldás egzakt módszerekkel nem található meg. A döntés gyakran igen egyszerű művelet, máskor viszont igen összetett a munkadarab állapotváltozásai, az eljárások, a berendezések és gyártóeszközök, az igények és a lehetőségek bonyolult kölcsönkapcsolatai miatt.
- **Optimálás**. A legjobb megoldás meghatározása egzakt matematikai modell és optimumkeresési eljárás esetében. Az optimálás vonatkozhat a folyamat struktúrájára, vagy egyes paramétereire is;
- **Adaptálás**. A megtalált analogon, vagy a generált általános megoldás illesztése a konkrét feltételekhez (pl. felesleges műveletek, műveletelemek elhagyása, méretek aktualizálása a típustechnológiában a konkrét alkatrész jellemzői alapján).

Az alkatrészek gyakorlatilag végtelen változatossága, a környezeti feltételek igen széles határok között való változása és a folyamat környezetfüggősége miatt a tervezési feladatok modellje és megoldása - a feladat jellegétől, szintjétől függően - nem lehet minden esetben általános érvényű. A következő esetek fordulhatnak elő:

- **Általános** a feladat modellje és megoldása, bármilyen alkatrész esetén, bármilyen gyártási környezetben korlátozás és utólagos illesztés nélkül alkalmazható. Ide sorolható az alacsonyabb szintű geometriai számítások többsége;
- **Korlátosan általános** megoldásról akkor beszélünk, amikor az valamely jól definiált részfeladatra bármely környezetben alkalmazható, de a megoldás csak bizonyos alkatrészekre, felületcsoportokra, eljárásokra, gépekre stb. vagy éppen fordítva, bármely alkatrészre, de csak bizonyos környezeti feltételek mellett alkalmazható. Ilyen pl. a szerszámpályák tervezése simító kontúresztergálásra. Az ilyen relatíve általános megoldások véges készletével (pl. az összes mozgástervező rutinnal) a teljes probléma (a szerszámpályák tervezése) lefedhető. A megfelelő megoldások utólagos illesztés nélkül alkalmazhatók:
- **A parametrikusan környezetfüggő** megoldások esetében a matematikai modell és a megoldás módja is megfogalmazható általános alakban, de a

modell paramétereit adaptálni kell a konkrét környezet adottságaihoz. Klasszikus példaként a forgácsolási paraméterek számítását említhetjük meg;

- **A strukturálisan környezetfüggő** megoldások a sorrendtervezésre jellemzők. Létezhet ugyan környezetfüggetlen legjobb megoldás, de annak csupán elvi jelentősége van, mivel az adott környezetben feltételek hiányában nem alkalmazható. Az igények - amelyeket a munkadarab objektív állapotváltozásai határoznak meg - szerencsére általános alakban is előállíthatók, s ezzel maga a feladat is. Az igények kielégítését azonban a környezeti korlátozások határozzák meg. Legcélszerűbb ilyen esetekben a megoldásokat adatbázisba vinni. Ha bevisszük őket a programba, akkor a megfelelő modulok speciálissá, környezetfüggővé válnak. A környezet nagymérvű változása esetén ezek a megoldások már nem adaptálhatók. Jellemző példaként az eljárások és gyártóberendezések kiválasztását ajánlhatjuk.
- **A speciális megoldások** csak abban a környezetben alkalmazhatók, amelyekre kidolgozták őket. Tervezési, rendszertechnikai hiba, ha alkalmazzák őket. Néha mégis ilyen megoldáshoz folyamodunk, ha nem áll rendelkezésre általános megoldás vagy, mert az nem is értelmezhető, vagy mert tudásunk, ismereteink még nem elégségesek kidolgozásukhoz. Ilyen megoldásokként értékelhetjük sok generatív sorrendtervező rendszerben az eljárás - és gépválasztási algoritmusok, vagy a posztprocesszorok adatkonvertáló moduljainak használatát.

A két véglettel - tehát a teljesen általános és a teljesen speciális megoldással - nincsen további teendő. A részlegesen általános és környezetfüggő megoldások adaptálása különböző szinteken és különböző módszerekkel, technikákkal történhet.

A technológiai tervezésben, s így a gyártásban is igen nagy az összegyűjtött egyéni és kollektív tapasztalat, valamint a helyi (jó és rossz) konvenciók jelentősége. Igaz ez a folyamat struktúrájára és paramétereire is. Az egyszer, vagy többször "bevált" megoldásokat lényegi változtatások nélkül alkalmazzák újra meg újra, anélkül, hogy mélyebben elemeznék, értékelnék a gazdaságosság szemszögéből. A technológus - más mérnökökhöz hasonlóan - szeret mintákban gondolkodni, kész sémákat alkalmazni. A típustechnológia tulajdonképpen nem más mint az ilyen minták, példák megfogalmazása. Az egyedi "receptek" közötti összefüggéseket, az általánosítás lehetőségeit azonban nem vizsgálták. Így azután amikor a tervezés automatizálása időszerűvé vált, kiderült, hogy sok esetben a technológus nem tudja érvekkel igazolni, szabályokba fogalmazni az alkalmazott megoldásokat. Különösen igaz ez összetett döntésekre, strukturális kérdésekre.

Az automatizált tervezés három évtizede alatt a helyzet természetesen sokat javult, de az általánosított, szabályokba, tételekbe, modellekbe fogalmazott technológiai tudás ma sem mindig elegendő a feladatok önálló megoldásához. Hiányos tudás esetében a gépgyártástechnológia szakterületén kivül eső eszközöket is igénybe kell vennünk.

A feladat típusait, a tervezési műveleteket, a megoldások környezetfüggőségét is figyelembe véve a technológiai tudás és a feladat viszonya, s e viszony következtében az alkalmazható megoldási, tervezési módszerek az alábbi típusesetekbe sorolhatók:

- A tudás **kész megoldási sémákban,** mintákban, "receptekben" ábrázolható és azok lényegi változtatás nélkül alkalmazhatók a konkrét feladatok megoldására. Ilyen esetekben alkalmazzák a tervezésben a **variáns** módszert;
- A tudás jól kezelhető, megfelelően környezetfüggetlen és egzakt **matematikai modellekben**, környezetfüggetlen és egzakt megoldási módszerekben reprezentálható. E csoportba tartoznak a nagyméretű, de jól dekomponálható modellek is, sőt azok az esetek is, amikor nincsenek egzakt modelljeink, de a feladat megoldására kielégítő heurisztikus algoritmusok vannak. Automatizált tervezéskor a **generatív** szintézis módszere alkalmazható;
- **Részben modellezhető**, részben környezetfüggő **receptekbe** fogalmazható tudás birtokában az előző két eset kombinációjáról van szó. Összetett feladatokra jellemző, s ilyenkor a **félgeneratív, variogeneratív** szintézis módszere alkalmazható;
- **Hiányos,** a feladat megoldásához nem elegendő tudás esetén a feladatot, vagy a megoldás módját nem tudjuk modellezni. A megfogalmazott szabályok, axiómák nem eléggé általánosak, zavarosak, egymásnak ellentmondóak, sok a kivétel és azok sem pontosan definiáltak stb. Ilyen esetekben a mesterséges (gépi) intelligencia eszköztárában örvendetesen gyarapodó általános problémamegoldó módszereket, vagy a szűkebb szakterületre, feladatkörre ("világra") specializált **szakértői rendszereket** (expert systems) hívhatjuk segítségül.

10.3.1. A tervezés és a tudásreprezentáció elvei és módszerei

Az előzőekben tisztáztuk,hogy a technológiai tudás mértéke, érvényességi tartománya, egzaktsága széles határok között változik. Célszerűen változik a tudás ábrázolási módja és tárolásának helye is. A tudásreprezentáció módja és a tudás megoszlása a tervezőrendszer komponensei között olyan nagy jelentőségű, hogy szinte egyértelműen meghatározza az alkalmazandó (alkalmazható) tervezési műveleteket, rányomja bélyegét a teljes rendszerre, vagy annak elkülöníthető szintjeire. Ily módon a tudásreprezentáció függvényében különböző elvű rendszerekről beszélhetünk.

a/ A variáns módszer

A módszer ismert, alkalmazása szinte általános. A technológiai tervezésben a módszer alapja a csoporttechnológia.

A teljes technológiai tudást kiemeli a programból, s azt egyszerű táblázatok, vagy táblázatos (ritkán speciális nyelven megírt) algoritmusok alakjában az adatbázisban

tárolja, amely így tudásbázissá válik. A tudást koncentrált formában, olyan alkalmazásra kész megoldásokként ábrázolja, amelyeken lényegi változtatások automatikusan nem lehetségesek.

A módszerre jellemző tervezési műveletek az elemzés (a feladat azonosítása), a választás (analogon kikeresése) és az adaptálás (felesleges folyamatelemek kihagyása, paraméterek illesztése).

A variáns módszert egy kötőelem furat megmunkálásával szemléltetjük. A műveletelemek ésszerű sorrendje - központfúrás, fúrás, felfúrás, süllyesztés, élletörés, dörzsölés - bármikor érvényes. A méretek és a megkívánt pontosság elemzésével a központfúrás, a felfúrás és a dörzsölés esetenként elhagyható; a szerszámméretek a konkrét furatátmérőhöz illesztendők.

Nyilvánvaló, hogy a módszer nem oldja meg, hanem inkább megkerüli a tervezés automatizálásának problémáját, hiszen kész megoldásokat használ fel. Ennek ellenére óriási jelentőségű, hasznos módszer, amely a mindennapos tervezői munka hatékonyságát többszörösre növeli kézi vezérlésű berendezések és a csoporttechnológia alkalmazása esetében a művelet- és a sorrendtervezés szintjén.

Hátrányos tulajdonsága, hogy érzéketlen az aktuális munkadarab sajátosságaival és a környezeti feltételek változásaival szemben, ezért a megoldásokat viszonylag homogén alkatrészhalmazokra kell kidolgozni. Minden tömegszerűséghez, minden célfüggvényhez és környezethez is el kell készíteni a megoldásokat, így a tudásbázis óriási méretűre duzzad. Amennyiben a megoldási mintákat kézzel készítik, a tudásbázis feltöltésének munkaigényessége erős korlátozó tényezővé válhat.

Ez utóbbi hátrány kiküszöbölhető, ha a megoldási sémákat, azaz a technológiai variánsokat automatizáltan, például a generatív szintézis módszerével, vagy szakértői rendszer segítségével állítjuk elő.

b/ A generatív szintézis módszere

Számtalan rendszerben alkalmazzák a műveletelemek tervezésére.

Jellemzője, hogy a teljes technológiai tudást beviszi a programba, amelyet ily módon tiszta adatbázis egészít ki. A programba "fagyasztják" a teljes tervezési logikát, a feladatok dekompozíciójának módját, a tervezési műveletek sorrendiségét, a feladatok modelljének aktualizálását és a megoldási módszereket is.

A módszerre jellemző, hogy minden feladattípust és tervezési műveletet sokszor aktivizál. Klasszikus megfogalmazásban az általános alakban nyert megoldásokat a tervezés befejeztével illeszti a környezeti feltételekhez.

Legfontosabb jellemzője, s egyben előnye a módszernek, hogy igen érzékenyen képes követni a munkadarab sajátosságait, a gazdasági cél változását, azaz alkalmas optimális technológiák tervezésére. Ez éppen az egzakt modellek és megoldási, optimálási módszerek alkalmazásából ered.

Nem kész megoldásokban gondolkodik, hanem apró mozaikokból, a konkrét feltételek részletes elemzésével szintézis útján állítja elő a folyamatot. A technológiai tudás tehát elosztottá válik, bediffundál a rendszer minden programmoduljába.

Legfontosabb hátrányos tulajdonságai a módszernek a rendszerfejlesztés rendkívüli munkaigényessége és a nagy terjedelem.

A módszer alkalmazásának jellegzetes esetei a mozgáspályák tervezése, a mozgás- és korrekciós vektorok meghatározása (lásd később e fejezetben), vagy az optimális technológiai adatok meghatározása (11.fejezet).

Jellegzetes generatív rendszer az APT, az EXAPT, a FORTAP és a TAUPROG.

c/ A variogeneratív szintézis módszere

A módszer lényege és célja a variáns és a generatív módszer előnyeinek ötvözése hátrányaik egyidejű kiküszöbölése mellett. Nevéből is látszik, hogy megvalósítja a folyamat szintézisét, de a tervezési műveletek egy részét a generatív, más részét pedig a variáns módszerrel hajtja végre. A tudást részint a programokban, részint pedig a bázisban tárolja, azaz részint algoritmikusan, részint táblázatos formában, a környezetfüggő tudást pedig - amely főként a konkrét megoldásokat jelenti - a tudásbázisban.

A tervezési folyamat mély elemzése, modellezése révén meghatározható a tervezési részfeladatok (műveletek) olyan készlete, azaz a teljes tervezési feladat olyan dekomponálása és a tervezési műveletek olyan sorrendje, amely az adott szinten (pl. sorrendtervezés, művelettervezés), bármilyen alkatrészre alkalmazható tetszőleges környezeti feltételek mellett is. A tervezésnek ez az objektív modellje olyan programban realizálható, amelyet módosítani, adaptálni sohasem kell. E pontban tehát a tiszta generatív módszer érvényesül. Van egy sor aritmetikai, elemzési, választási, döntési, optimálási művelet, amely generatív módszerrel szintén megvalósítható.

A környezetspecifikus megoldások a variogeneratív (félgeneratív) rendszerben az állandó adatokkal együtt a bázisba kerülnek, így az adat- és tudásbázissá válik.

A tudásbázis itt lényegében feltételek (igények) és megoldások megfeleltetését tartalmazó egyszerű táblázatokból, többméretű mátrixokból, esetleges táblázatos algoritmusokból áll. Esetenként előfordul a báziselemek közötti kölcsönös hivatkozás.

A tudásbázis dekoncentrációjának két roppant előnye van. Az egyik a tervezés nagyobb rugalmasságában, a másik a változó környezethez való igen egyszerű adaptációban mutatkozik meg.

A félgeneratív módszer alkalmas a folyamat optimálására is, hiszen a tudásbázisból több lehetséges megoldást (eljárás, gépsorrend, szerszám stb.) emel ki, amelyek között a megfelelő általános érvényű programmodul kiválaszthatja a néhány legjobbat, akár különböző célfüggvények esetére is.

A félgeneratív módszer jellemzői tehát a tervezési folyamat jól átgondolt modellje és a feladat dekompozíciója, a feltételek (igények) és környezetfüggő megoldások kategórikus szétválasztása, az általános célú program, az elosztott paraméterű adat- és tudásbázis, amelynek nagy része időtálló.

A variogeneratív rendszerekben pl. a kötőelemek megmunkálásához a műveletelemeket a variáns elv alapján választják ki (lásd korábban), az optimális technológiai adatokat pedig generatív módszerrel egzakt matematikai modell segítségével határozzák meg.

Variogeneratív elvű a magyar sorrendtervező GLEDA rendszer.

d/ Szakértői rendszerek a technológiai tervezésben

Van az automatizált technológiai tervezésnek néhány sarkalatos problémája, főként a magasabb tervezési szinteken (sorrend), amelyek hagyományos módszerekkel nem oldhatók meg. Ha bevisszük a megoldást a programba, akkor az csak speciális lehet, ha a tudásbázisban ábrázoljuk, akkor azt kézzel kell feltölteni, hasonlóan a variáns módszerhez. A probléma végső fokon tehát megoldatlan marad.

A probléma lényege talán úgy fogalmazható meg, hogy meg kell találnunk a számítógépi megfelelőjét a technológus globális áttekintő képességének, ahogyan egy pillantással átfogja a teljes munkadarabot annak fontosabb részleteivel együtt és ahogyan azonnal "beugrik" agyába a megoldás koncepciója. A baj az, hogy a technológus mérnök nem tudja pontosan megmagyarázni a megoldás általános szabályait, mert a nem definiált, rejtett szabályokat azonnal a konkrét példára alkalmazza.

Jellegzetes esete a hiányos tudásnak a megmunkálási sorrend meghatározása. Tudunk jól használható szabályokat fogalmazni, de azok alól sok a kivétel, sőt közöttük sok az ellentmondás.

Olyan eszközt kell tehát találnunk, amely ilyen hiányos, ellentmondásos, sok kivételt megengedő, esetleg zavarosan megfogalmazott szabályok alapján is meg tudja keresni a megoldásokat, figyelembe véve a kivételeket, feloldva az ellentmondásokat. Az eszköznek interaktívnak kell lennie, hogy jelezze a bajt, az akadályt s így újabb és pontosabb szabályok megfogalmazását kényszerítse ki, segítse elő. Ez az eszköz a szakértői rendszer (expert system, tudásbázisú rendszer, knowledge based system).

Neve is mutatja, hogy ezeket valamely szakterület (pl. a gépgyártástechnológia) szakértőinek szánták olyan segédeszközként, amelyek a ködös információk, hiányos szabályok alapján is megkísérlik a feladat megoldását általánosabb megoldó módszereket alkalmazva. A tényeket, adatokat, szabályokat tehát a szakértőnek kell megfogalmaznia, a feladat megoldását viszont nem speciális célú (pl. technológiai) processzor, hanem általánosabb eszköz generálja.

A szakértői rendszerben a tényeket, adatokat "recepteket", valamint a szabályokat a produkciós rendszerben (production system) foglalják egybe. A munkadarabra, a feature-ökre, azok állapotára, az alkalmazható eljárásokra, berendezésekre szerszámokra stb. vonatkozó adatokat és tudást, valamint kapcsolataikat ún. keretekben (frames), a tervezést vezérlő szabályokat (rules) szabálygyűjteményben ábrázolják.

A szakértői rendszerek építésénél általában nem hagyományos logikai nyelveket (LISP, Common LISP, PROLOG) alkalmaznak. Egyre inkább elterjedtek a szakértői keretrendszerek (shell), amelyek a nyelvek alkalmazásásain kívül egyéb eszközökkel (pl. tervgenerátor, genetikus algoritmusok, stb.) is segítik a tervezést (KEE, ART stb).

A frame-ekre jó példa a síknak, mint feature-nek a leírása (méretek, pontossági jellemzők, lehetséges állapotok stb), a szabályokra (rules) pedig a bázismegválasztás szempontjai, (amelyek közül néhányat a 4. fejezetben mutattunk be).

e/ Hibrid rendszerek

A tervezés minden szintjét és részfeladatát megoldó technológiai tervezőrendszerek ésszerűen ötvözik, kombinálják az elvek együttes alkalmazását. Ideálisnak tekintjük az olyan variogeneratív elvű rendszert, amely a lehetséges optimális gyártási sorrendek meghatározására, valamint a bázisok kiválasztására és a helyzetmeghatározásra szakértői rendszermodulokat tartalmaznak.

10.3.2. Tervezőrendszerek felépítése, integrált tervezőrendszerek

A tervezőrendszer felépítését a 10.1. ábrán már bemutattuk. Legfontosabb elemei: a **processzor**, amely három nagy modulból áll (sorrend-, művelet-, műveletelem tervezés), a **posztprocesszor** (illesztőprogram), az **adat-és tudásbázis,** az ember-gép kapcsolatot megvalósító **feladatleíró nyelv**, valamint a szintek közötti információátadást szolgáló belső, **közbenső nyelvek**. Ezek között a processzor és posztprocesszor közötti, CLDATA-nak nevezett közbenső nyelvnek kiemelt szerepe van. A technológiai tervezőrendszerek - más rendszerekhez hasonlóan - operációs rendszerekbe ágyazva működnek, kihasználják azok lehetőségeit. Igen gyakran egészítik ki az általános operációs rendszereket (DOS, UNIX, VMS, stb.) a technológiai tervezést hatékonyabbá tevő speciális modulokkal.

A technológiai tervezés teremt kapcsolatot a konstrukció (CAD) és a gyártás (CAM), a termelésirányítás (PPS) és a gyártás, valamint az erőforrás tervezés (MRP) és a gyártás között. A konstrukciós tervezéssel és a termelésirányítással különösen bonyolult kölcsönhatásban van.

A konstrukciós tervezéshez a geometriai modellezés, a közös geometriai nyelv segítségével közvetlenül csatlakozik. A konstrukció műszaki értelemben egyértelműen meghatározza a technológiai tervezési feladatot. Ugyanakkor a technológia is hat a konstrukcióra.

A technológiai tervezéstől elvárható, hogy a gyárthatóságot ellenőrizze s ha a gyártáshelyesség ellen a gyártmánytervezés során vétettek, akkor a gyártmány utalja vissza konstrukciós módosításra.

A termelésirányítás magasabb szintjei szolgáltatják a technológiai tervezés gazdasági információit (tömegszerűség, sorozatnagyság, célfüggvény), határozzák meg a rendelkezésre álló erőforrásokat (gyártórendszer, gép, stb), a technológiai tervezés viszont fontos adatokat szolgáltat a termelésirányítás magasabb és alacsonyabb szintjei (ütemezés, programozás) számára.

A gyártási erőforrástervezéstől (MRP) a technológiai tervezés alapadatokat kap a rendelkezésre álló nyersanyagokról, előgyártmányokról, gyártóeszközökről stb, ugyanakkor az MRP a technológiai tervezéstől kap adatokat az egy-egy termékre eső anyagszükségletről, gyártóeszköz fogyasztásról stb.

Ennek a központi szerepkörnek, a bonyolult kölcsönkapcsolatoknak csak az **integrált technológiai tervező-rendszerek** (ITTR) felelnek meg. A 10.1. ábrán bemutatott

rendszer is integrált, de "vertikális" irányban hiányzik egy, az említett rendszereket összekapcsoló modulja, az **előtervezés.**

Ennek a modulnak a "horizontális" integrációban is fontos szerepe van, amennyiben megalapozza nem csak az alkatrészgyártás, hanem az előgyártás és a szerelés részletes tervezését is.

Az előtervező rendszer a konstrukcióval azonos termékmodell alapján összeállítja a termék családfáját, a szerelési gozintográfot és a konstrukciós méretlánc elemzésével kialakítja a gyártási méretláncokat, kiválasztja vagy megtervezi az előgyártmányokat, rögzíti az előgyártás, az alkatrészgyártás és a szerelés gyártórendszereit. A tervezés eredményeit továbbadja a megfelelő sorrendtervező rendszernek.

A gyártórendszerek kiválasztását a "gyártábla" (mátrix) segíti, amely a gyártórendszereket alkatrészcsaládokhoz rendeli és amelyeket a termelésirányítás állandóan karbantart a kapacitások és terhelések tekintetében.

A horizontális integráció egyfelől nem más, mint az ITTR alkalmazása minden gyártási folyamatra és a gyártóeszközök tervezésére is. A korábban "segédfolyamatoknak" tekintett anyagmozgatás, alkatrészkezelés, szállítás-raktározás, mérés-minősítés szintén automatizált "főfolyamattá" válik, amelyeket szintén számítógéppel terveznek. Másfelől az integráció azt a képességet jelenti, hogy a technológiai tervezőrendszer képes közvetlenül fogadni és hasznosítani más rendszerektől (CAD, PPS, MRP stb.) és szolgáltatni is azok számára információt.

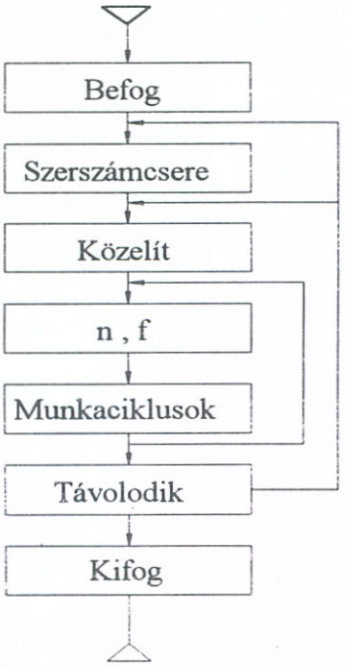
Ez a kölcsönkapcsolat teszi szükségessé a rendszerek kompatibilitását, a csatlakozási felületek (interface) egységesítését, sőt szabványosítását.

10.3.3. Szerszámmozgások tervezése

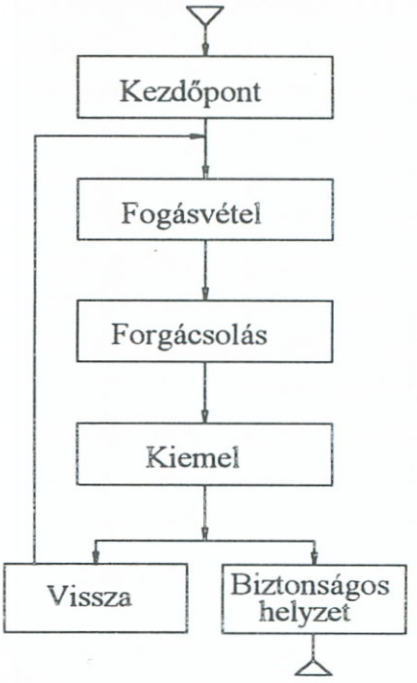
A technológiai tervezőrendszerek sok-sok részfeladatot oldanak meg, amelyek közül itt csak a forgácsoló szerszámok mozgásainak tervezésére térhetünk ki. A forgácsoló művelet a munkadarab befogásától kifogásáig tart (10.3. ábra).

Általános esetben a munkadarabok cseréje is automatizált (palettacserélővel, robottal stb.), ezért azt is a mozgástervezés részeként kezeljük. A szerszámváltások, a munkapontok gyors megközelítése, a munkaciklusok és a szerszám biztonságos helyzetbe küldése ismétlődik a mozgástervezés folyamán, egészen addig amíg az összes műveletelemhez rendelt ráhagyásokat el nem távolítják. A munkaciklusok részint üresjárati, részint munkamenetekből épülnek fel (10.4. ábra).

A mozgáspályák tervezését általános esetben meg kell előznie a technológiai adatok (fogásmélység, fordulatszám, előtolás) számításának, mert a forgásmélység befolyásolja a munkaciklus kezdőpontjának koordinálását.



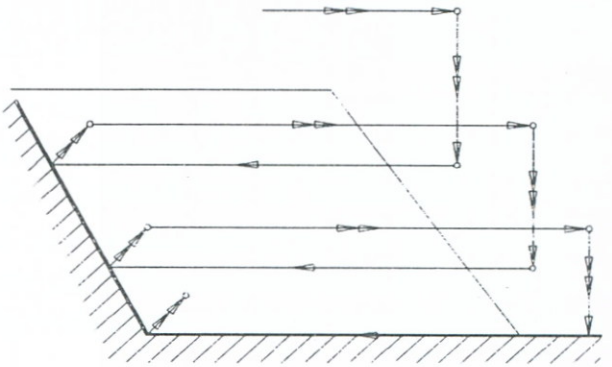
10.3. ábra. Forgácsoló művelet



10.4. ábra. Forgácsolási munkaciklus

a/ Egyszerű munkaciklusok

Egyszerűnek tekintjük azokat a munkaciklusokat, amelyek a fősíkokkal párhuzamos síkokban valósulnak meg, A 10.5. ábrán a nagyoló esztergálás munkaciklusát mutatjuk be, kettős nyilazással a gyorsmeneti, egyszeres nyilazással a munkaelőtolásos mozgásokat.



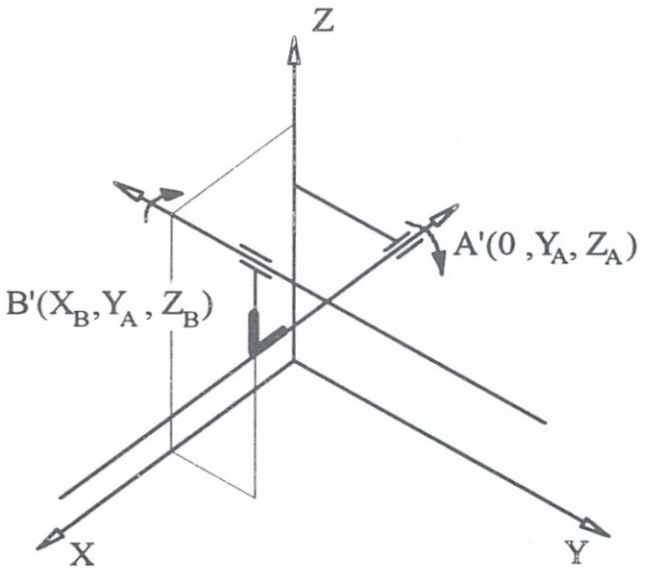
10.5. ábra. Egyszerű munkaciklus

Nagyoló megmunkálások esetében a munkamenetek általában egyenesvonalúak, s csak a félsimító és simító jellegű műveletelemekben követi a szerszám a munkadarab kontúrját.

Nagyobb felületek marásakor (síkok, zsebek stb.) a szerszám cikk-cakk, vagy spirál (meander) pályák mentén távolítja el a ráhagyásokat.

b/ Az öttengelyes marás mozgásvektorai

Három és több tengely egyidejű mozgatása révén megvalósított munkamenetek esetében bonyolult, térbeli mozgásciklusokról beszélünk.



10.6. ábra. Öttengelyes marógép mozgástengelyei

Háromtengelyes (háromdimenziós) maráskor a rendszerint félgömbölyű végű hengeres ujjmarónak a gömb középpontjában lévő referenciapontja cikk-cakkban vagy meander alakban mozog a munkadarab felülettel ekvidisztáns felületen. A szerszámtengely z iránya fix, ezért bonyolult felületek megmunkálásakor a szerszám és a munkadarab érintkezési pontja vándorol a szerszám felületén. A forgácsolási folyamat szemszögéből igen kedvezőtlen, ha az érintkezési pont a szerszám tengelyében, vagy annak közelében van, mert nulla vagy igen kicsiny forgácsolási sebességet eredményez. A probléma csak öttengelyes marógépen oldható meg, ahol a szerszámtengelynek felülethez viszonyított iránya tetszés szerint változtatható.

Az **öttengelyes marógép** úgy jön létre, hogy az X,Y,Z lineáris tengelyekkel egyidejűleg megmunkálás közben két rotációs tengely is mozog. A rotációs mozgásokat CNC körasztalok, vagy billenő főorsó valósítja meg. A 10.6. ábrán az A′ és B′ rotációt is körasztal végzi, éspedig úgy, hogy az A′ asztalt a szerszámgép asztalára, a B′ asztalt pedig az A′ asztalra helyeztük. Nyilvánvaló, hogy az A′ tengely forgatás közben vonszolja a B′ asztalt.

A mozgásvektorok számításakor az X,Y,Z,A′,B′ koordinátákat kell meghatározni. Az öttengelyes vezérlések általában lineáris interpolációt alkalmaznak, s ez azt jelenti, hogy igen sok elemi elmozdulásból és forgatásból áll a vezérlőprogram.

A rotációs mozgás célja, hogy aszerszámtengely a munkadarab felületi normálisához viszonyított helyzete állandó legyen: párhuzamos, merőleges, vagy adott szöget zárjon be.

Az előírt szerszámtengely irány beállítása az A′ tengely α, a B′ tengely β szöggel való elforgatásával történik. Az F(u,v) alakban leírt felület normálisának komponensei:

$$x_n = \frac{\frac{\partial Fy}{\partial u}\frac{\partial Fz}{\partial v} - \frac{\partial Fz}{\partial u}\frac{\partial Fy}{\partial u}}{\left|\underline{n}\right|} \qquad (10.1.)$$

$$y_n = \frac{\frac{\partial Fz}{\partial u}\frac{\partial Fx}{\partial v} - \frac{\partial Fx}{\partial u}\frac{\partial Fz}{\partial v}}{\left|\underline{n}\right|} \qquad (10.2.)$$

$$z_n = \frac{\frac{\partial Fx}{\partial u}\frac{\partial Fy}{\partial v} - \frac{\partial Fy}{\partial u}\frac{\partial Fx}{\partial v}}{\left|\underline{n}\right|} \qquad (10.3.)$$

Ha azt akarjuk, hogy a szerszám tengelye az $\underline{n}$ felületi normálissal párhuzamos legyen, akkor az A és B asztalok helyzete a

$\sin\alpha = y_n$

$$\sin\beta = \frac{x_n}{\sqrt{x_n^2 + z_n^2}} \qquad (10.4.)$$

összefüggésekkel határozható meg. Ha viszont a szerszám tengelyét a felületi normálisra merőlegesen (az érintősíkkal párhuzamosan) kívánjuk beállítani, akkor az asztalhelyzeteket a

$$\sin\alpha = \sqrt{x_n^2 + y_n^2}$$

$$\sin\beta = \frac{x_n}{\sqrt{x_n^2 + z_n^2}} \qquad (10.5.)$$

szerint számíthatjuk.

A rotációs mozgások következtében a szerszám eltávolodik a felülettől, vagy éppen belemar, ha addicionális lineáris mozgással nem kompenzáljuk az elforgatás hatását. Így a P(x,y,z) szerszám-munkadarab érintkezési pont a gép koordináta-rendszerében a P′(x′, y′,z′) helyzetbe kerül elforgatás után.

A P(x,y,z,1) homogén koordinátákat alkalmazva a P′ helyzete öt elemi transzformáció eredőjeként adódik:

1. A kezdőpontot áthelyezzük a B′ pontba - A1
2. A B′ tengelyt β helyzetbe forgatjuk - A2
3. A kezdőpontot áthelyezzük az A′ pontba - A3
4. Az A′ tengelyt α helyzetbe forgatjuk - A4
5. A kezdőpontot visszahelyezzük az origóba - A5

A transzformációk

$$A1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -X_B \\ 0 & 1 & 0 & -Y_A \\ 0 & 0 & 1 & -Z_B \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \qquad A2 = \begin{bmatrix} \cos\beta & 0 & -\sin\beta & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \sin\beta & 0 & \cos\beta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A3=\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & X_B \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & Z_B - Z_A \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \qquad A4=\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\alpha & \sin\alpha & 0 \\ 0 & \sin\alpha & \cos\alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A5=\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & Y_A \\ 0 & 0 & 1 & Z_A \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Az eredő transzformáció:

$$A=A5A4A3A2A1$$

A P′(x′,y′,z′) pont koordinátáira

$$x'=(x-X_B)\cos\beta-(z-Z_B)\sin\beta+X_B$$
$$y'=(x-X_B)\sin\alpha\sin\beta+(y-Y_A)\sin\alpha+(z-Z_B)\cos\alpha\cos\beta+(Z_B-Y_A)\sin\alpha+Y_A \quad (10.6.)$$
$$z'=(x-X_B)\cos\alpha\sin\beta+(y-Y_A)\sin\alpha+(z-Z_B)\cos\alpha\cos\beta+(Z_B-Y_A)\cos\alpha+Z_A$$

kifejezéseket kapjuk.

A (10.6.) összefüggésből látható, hogy a mozgások öttengelyes szerszámgépek esetében függenek a rotációs tengelyek helyzetétől, azaz az Y_A,Z_A, X_B,Y_B,,Z_B koordinátáktól.

Belátható az is, hogy a mozgásokat a gép morfológiai felépítése is befolyásolja, más összefüggéseket kapunk, ha az egyik vagy mindkét rotációt a szerszám végzi.

Nagy körültekintés kell öttengelyes marógép programozásakor az üresjárati mozgások tervezésében is, mert a forgácsolás kezdőpontjának megközelítésekor, vagy a munkamenetek befejezésekor, a szerszám eltávolítása közben a szerszám ütközhet a munkadarabbal. A 10.7. ábrán a mozgások helyes sorrendjét mutatjuk be közelítéskor, távolodáskor, szerszámcsere és akadályok kikerülése közben.

Az elemi elmozdulások hosszát a felületek görbülete és a kívánt pontosság határozzák meg. Fontos képessége a korszerű CNC vezérléseknek a szerszámkopás és általában a szerszámméretek változásának a kompenzálása. Ezt a vezérlés valós időben végzi, úgy, hogy a vezérlésbe táplált szerszámméretek (L hossz és R_{sz} sugár) szerint korrigálja a nulla hosszúságú és sugarú szerszámra azaz a munkadarab felületi pontjaira számított mozgásokat.

A tárgyalt felépítésű szerszámgépek esetében a szerszámméret korrekció az alábbiak szerint történik: A vezérlés utasításrendszerében a korrekciós vektorok részére lefoglaltuk a P,Q,R (sugárkorrekció) és az U,V,W (hosszkorrekció) címeket.

A korrekció értéke függ a szerszámgép konstrukciójától, a szerszám típusától és a szerszámnak a felületnormálishoz viszonyított helyzetétől is.

A tárgyalt gépstruktúrában a felületnormálissal párhuzamos szerszámhelyzetben a sugárkorrekciók értéke zérus, a hosszkorrekció pedig a megmunkálás közben állandó.

Ha a szerszám tengelye párhuzamos a felület érintősíkjával, akkor hengeres maróra

$$p=x_n,\ q=y_n,\ r=0$$

stb.

Általános esetben a programozott felületi $\underline{S}$ (x_s, y_s, z_s) pont koordinátáiból a vezérelt $\underline{V}$ (x_v, y_v, z_v) pont azaz a szerszám és a szerszámgép csatlakozási pontjának koordinátáit az

$$x_v = x_s + R_{sz} \cdot p + L \cdot u$$
$$y_v = y_s + R_{sz} \cdot q + L \cdot v$$
$$z_v = z_s + R_{sz} \cdot r + L \cdot w$$

összefüggések alapján számíthatjuk.

A szokásostól eltérően programozzuk az előtolást. A programban az F címben megadjuk az elemi elmozdulás **s** idejét. A vezérlés valós időben számítja az öt tengely menti sebességeket az aktuális lineáris és rotációs növekmények alapján a

$$v_x = \frac{\Delta X_v}{s}; \quad v_y = \frac{\Delta Y_v}{s}; \quad v_z = \frac{\Delta Z_v}{s}; \quad w_{A'} = \frac{\Delta A'}{s}; \quad w_{B'} = \frac{\Delta B'}{s}$$

összefüggések szerint. Ezeket megvalósítva jön létre az öt egyidejű tengely menti elmozdulás eredőjeként a kívánt relatív elmozdulás a szerszám és a munkadarab között az előírt sebességgel.

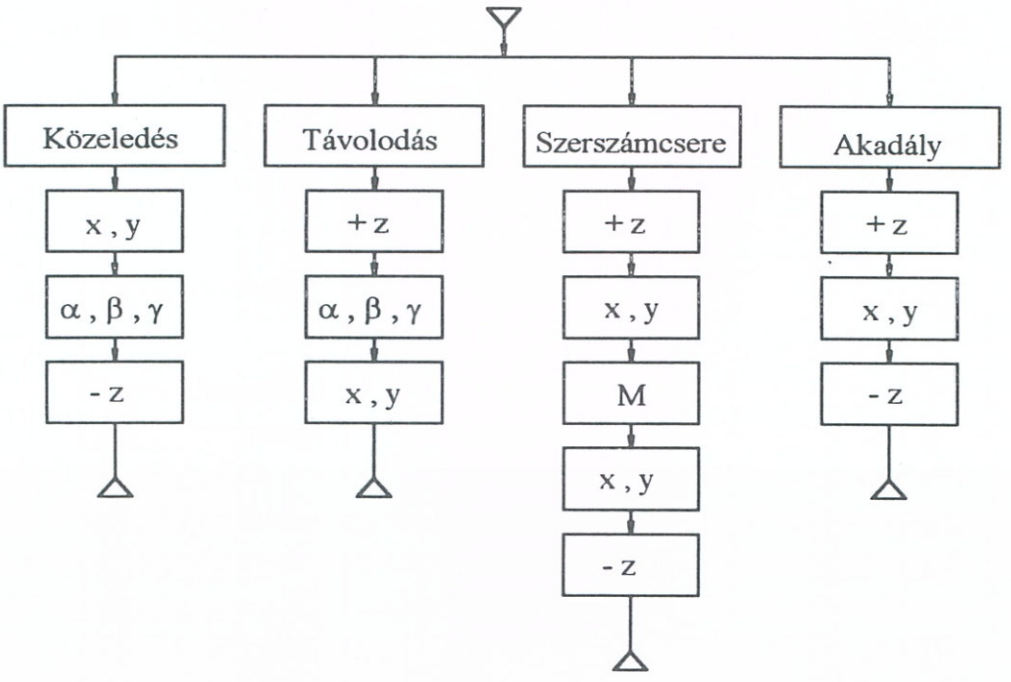
Hasonló számításokkal bármilyen gépstruktúrára, szerszámalakra és szerszámhelyzetre meghatározhatók a mozgás- és korrekciós vektorok, akár hattengelyes gépre is.

Egy-egy elmozdulást a vezetőprogramban tehát az

$$Xx_s,\ Yy_s,\ Zz_s\ A\alpha, B\beta, Pp, Qq, Rr, Uu, Vv, Ww, Fs$$

adatsor ír le.

A vezérlés az R_{sz} és L adatokkal számítja a korrekciókat és a korrigált adatok alapján a tengelysebességeket. Belátható, hogy az öttengelyes megmunkálás programjai igen hosszúak, "lyukszalagban" számolva hosszuk akár 20 km is lehet, ezért mágneses



10.7. ábra: Mozgások sorrendje öttengelyes szerszámgépnél

programhordozót és kábeles adatátvitelt alkalmaznak. A valós idejű számítások miatt gyors működésű vezérlésre van szükség.

10.3.4. Az ember-gép kapcsolat eszközei

Tervezőrendszerek alkalmazásakor az ember írja le a tervezési feladatot olyan eszközökkel, amelyek mind a gép, mind a tervező számára érthetőek, s az ember számára még kényelmesek is. Ma az interaktív rendszerek és a fejlett grafika korában a kapcsolatot sok különböző eszköz szolgálja (párbeszéd, grafikus menük, lágykulcsok stb). Megmaradt azonban a szabatos, sőt szabványos feladatleíró nyelv is, amely minden komoly rendszer esetében hivatalos dokumentumként szolgál, akkor is, ha a felhasználó más eszközökkel fogalmazta meg a feladatot.

A technológiai tervezőrendszerekben az APT-alapú, ISO által szabványosított szabad formátumú feladatleíró nyelv terjedt el.

A nyelv alapegysége az utasítás, amely megfelel az emberi nyelv mondatának. Az utasítás szótára fő- és módosító szavakból, azonosítókból, kódokból és valós számokból épül fel. Általános alakja:

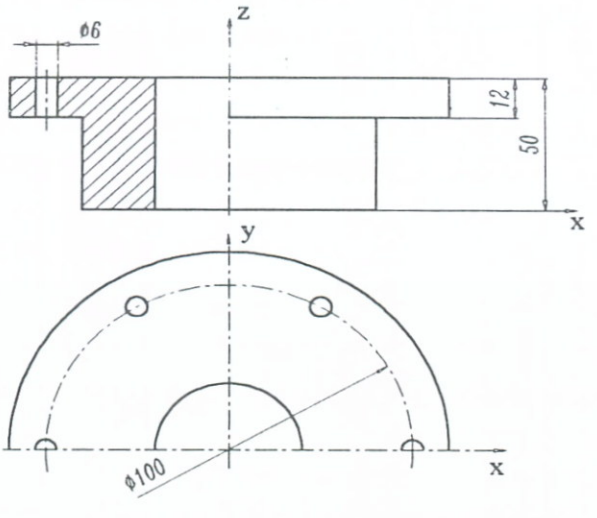
<UTASÍTÁS>::=<AZONOSÍTÓ>,=, <FŐSZÓ>./. {<MÓDOSÍTÓ>}

A feladat leírása utasítások sorozata a kezdő és záró utasítás között. Az utasítások ajánlott sorrendje:

KEZDŐ UTASÍTÁS
ÁLTALÁNOS ADATOK
GEOMETRIAI DEFINÍCIÓK
TECHNOLÓGIAI DEFINÍCIÓK
VÉGREHAJTÁSI UTASÍTÁSOK
ZÁRÓ UTASÍTÁS

Példa gyanánt írjuk le a 10.8. ábrán látható alkatrész 6 dörzsölt furatának megmunkálási feladatát:

```
KEZDŐ:        PARTNO/PERSELY
ANYAG:        PART/MATERL,102
GÉP:
MACHIN/012,MAZAK
Z sík:        Z/50
KÖR: KOER1=
CIRCLE/CENTER,0,0,RADIUS,50
PONTMINTA: MINTA=
PATERN/ARC,KOER1, 0,6,CCLV
DÖRZSÖLÉS: DOERZS=
REAM/DIA, 6, DEPTH,12
VÉGRE-:       WORK/DOERZS
HAJTÁS:       GOTO/MINTA
ZÁRÓ:         FINI,
```



10.8. ábra: Persely

Az anyagot és a gépet kódokkal azonosítottuk, a z=50 síkban először a kört, majd az azon lévő pontmintát definiáltuk úgy, hogy utóbbinak a "kezdőszöge" 0 (az első pont az x tengelyen van) és a hat pontot az óramutató járásával ellentétes irányban járjuk végig. A dörzsölés definíciójával egyúttal az azt megelőző fúrást, süllyesztést és élletörést is előírtuk.

Az ilyen alakban leírt alapadatokat a tervezőrendszer belső nyelvére fordítja (dekódolja), miközben a szintaxisát ellenőrzi.

10.3.5. Belső nyelvek

A tervezési feladat megoldása több lépésben történik, ezért a rendszernek belső, közbenső nyelvekre is szüksége van. Itt már nincs szükség kompromisszumra, hiszen az információ átadása, a közbenső tervezési eredmények tárolása a rendszer szintjei, moduljai között, belül történik. A magasabb tervezési szintek közötti nyelveket egyelőre nem szabványosították, annál inkább a processzor-posztprocesszor közbenső nyelvet, a CLDATA-t (Cutter Location Data) formátumot. Ennek nagyon praktikus okai vannak: a szerszámgépek üzemeltetői különböző tervezőrendszereket alkalmaznak. A szerszámgép és vezérlés szállításakor rendszerint a posztprocesszort is mellékelik, szükséges tehát, hogy az bármely processzorhoz illeszthető, azzal kompatibilis legyen. Ez a követelmény viszont csak nemzetközi szabványokkal elégíthető ki.

A CLDATA a szerszámmozgásokat és a mozgásfeltételeket (szerszám azonosító, kapcsolások, mozgáspályák) írja le. Alapegysége a rekord. Ellentétben a CNC vezérlések utasításrendszereinek heterogén mondataival a CLDATA rekordok homogének, azaz egy-egy rekord egynemű információkat hordoz. A hasonló jellegű rekordokat főtípusokba sorolják, mindegyikben több altípussal. A kapcsolási információk (szerszámváltás, fordulatszám és előtolás váltás stb) a 2000-es főtípuskódot, a mozgáspályák rekordjai az 5000-es kódot kapták stb.

A rekord felépítése:

SzSz, Ssz, FT, AT, MÓDOSÍTÓK,

ahol SzSz - a szavak száma a rekordban,
SSz - a rekord sorszáma
FT - főtípuskód
AT- altípuskód
MÓDOSÍTÓK - a részletezett adatok.

Jellegzetes CLDATA részlet a PERSELY (10.8.ábra) megmunkálásából található a 10.1. táblázatban.

A rekordok egyezményes sorrendben követik egymást a történések sorrendjében. A PARTNO itt is a kezdő rekord, a TOOLNO a szerszámváltást jelzi feltüntetve a szerszám azonosítóját, a fordulatszámváltást a SPINDL, a gyorsmenetet a RAPID, az egyenesvonalú mozgást a GOTO, a munkaelőtolás bekapcsolását a FEDRAT, munkamenetet az újabb GOTO, s végül a FINI előtt rendszerint a szerszámváltási helyzet gyorsmenetben történő megközelítésével záródnak a mozgások. A művelet végét jelzi a FINI rekord.

SzSz	SSz	FT	AT	MÓDOSÍTÓK	
4	1	1000	01	PERSELY	PARTNO
.	.	.	.		
.	.	.	.		
4	12	2000	04	003	TOOLNO
5	13	2000	51	240, 59	SPINDL
4	14	2000	61	10000	RAPID
6	15	5000	1	0,50,52	GOTO
5	16	2000	60	01,0.12	FEDRAT
8	17	5000	1	0,50,45,MINTA,1	GOTO
.				.	
	.	.	.		.

10.1. táblázat: CLDATA részlet

A pontos kódokat a szabványok, illetve a tervezőrendszerek kézikönyvei határozzák meg

10.3.6. Adat-és tudásbázis

A technológiai tervezőrendszerek igen sok olyan adattal, ténnyel, tudáselemmel operálnak, amelyek állandó érvényűek, vagy ritkán változnak. Ezeket ésszerűen adat-és tudásbázisban gyűjtik össze. A rendszerben alkalmazott tervezési elvektől függ az ábrázolás módja, a rendszer teljesítőképességétől, automatizáltsági szintjétől pedig az adat- és tudásbázis tartalma.

A variánselvű rendszerek komplett csoporttechnológiákat tárolnak, vagy azok részleteit, esetleg parametrikus alakban, míg a generatív rendszerek technológiai tábálázatokat, anyagokat, szerszámokat, szerszámgépeket és vezérléseket leíró kártyákat használnak, a variógeneratív rendszerek ezt is, azt is.

A szakértői rendszerek tények (frames) és szabályok (rules) gyüjteményeben ábrázolják az adatokat és a technológiai tudást.

Az igényesebb számítógépes NC programozási rendszerek automatikusan határozzák meg a technológiai adatokat. Ehhez szükséges az anyagok - szerszámanyagonként értelmezett - forgácsolhatóságát jellemző adatok (erő, teljesítmény, kopás), valamint a szerszám forgácsolóképességét, minőségét, alkalmazhatóságát meghatározó adatok ismerete. A 10.9. és a 10.10. ábrán a FORTAP rendszer szerszámkártyáját mutatjuk be.

A főkártyán (10.9.ábra) a szerszám azonosító adatai, típusa, megnevezése mellett geometriai és élgeometriai adatai láthatók, amelyek a beállításhoz, az ütközésmentes alkalmazáshoz szükségesek.

Azonos méretű szerszámok készülhetnek különböző anyagokból, megfelelő homlok és hátszögekkel, különböző aktív élhosszakkal stb. Ezek leírására szolgál a követőkártya, (10.10. ábra), így egy főkártya alkalmazható több szerszámegyed leírásához.

Az adat-és tudásbázis összeállítása, bővítése, karbantartása rendkívül munkaigényes és összetett feladat, amely a kölcsönkapcsolatok, keresztreferenciák miatt nagy figyelmet követel.

Egy-egy vállalat technológiai adatbankja, információrendszere tükrözi a vállalat tapasztalatait, színvonalát, s lényegében koncentráltan őrzi az összegezett tapasztalatokat. Nem véletlen ezért, hogy legféltettebb és legtitkosabb kincsként őrzik (pl. Rolls Royce). Éppen a feladat óriási mérete, a megbízható adatok megszerzésének költséges volta (pl. forgácsolási kísérletek) miatt országos, sőt nemzetközi együttműködésben is épülnek, működnek technológiai információs rendszerek (pl. az aacheni székhelyű INFOS).

10.3.7. Posztprocesszorok

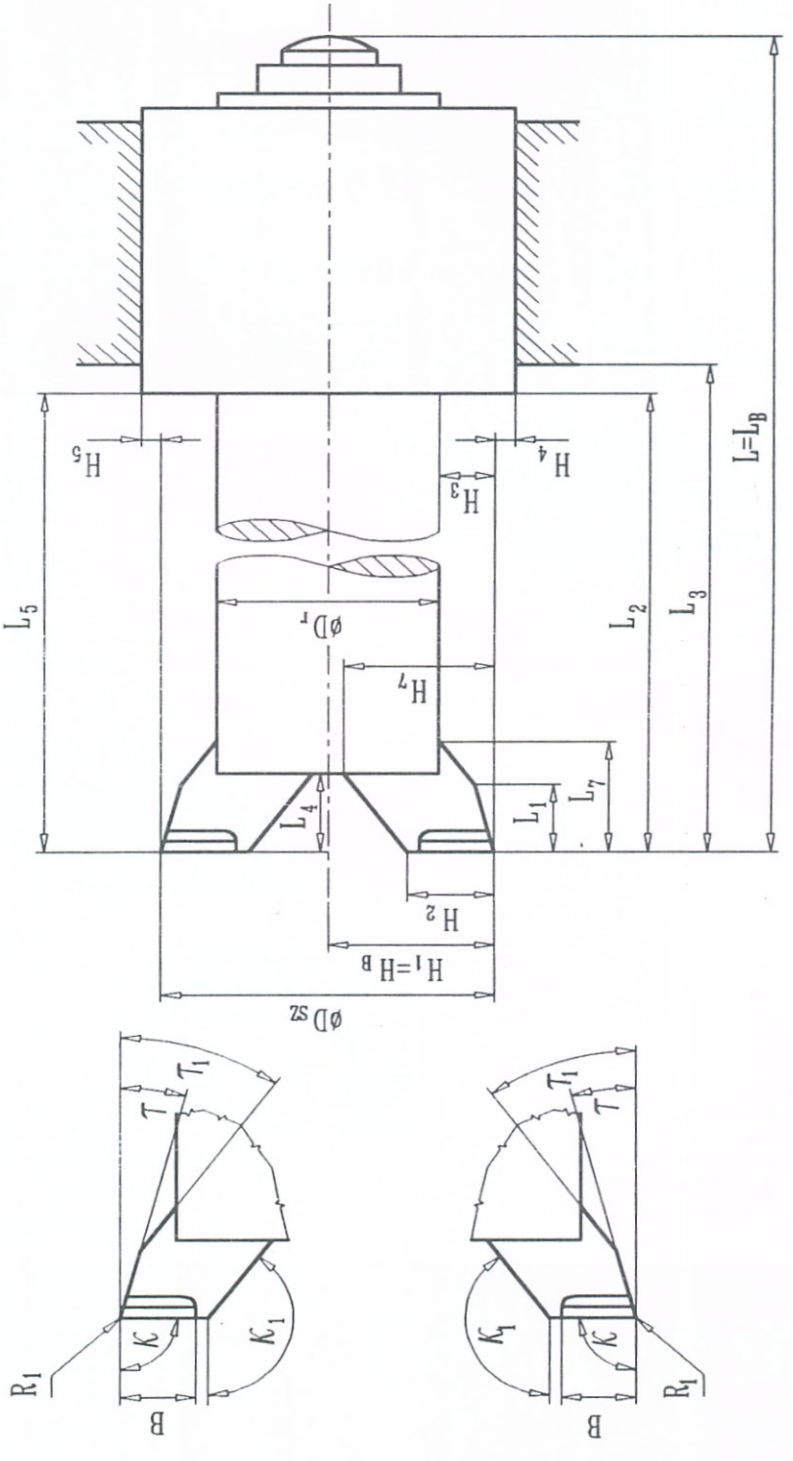
A technológiai tervezőrendszerek célszerűen általános, könnyen konvertálható alakban ábrázolják a tervezés eredményeit. Ezeket a felhasználó igényei, szokásai, dokumentációs rendszere, a szerszámgép automatizáltsági szintje, a gépkezelő szaktudása, a vezérlés utasításrendszere által meghatározott alakra, formátumra, adathordozóra kell konvertálni. Általános elvként kell elfogadnunk, hogy a processzorhoz - bármilyen tervezési szinteket testesít is meg - posztprocesszort kell kapcsolni.

A leggyakoribb feladat a CNC posztprocesszor készítése. Ennek feladata a CLDATA alapján a CNC vezérlőprogram, illetve a gépkezelő részére szolgáló utasítások elkészítése, valamint - ha a processzor el nem végzi - a költség és időadatok kiszámítása.

A homogén rekordok által hordozott információt CNC vezérlőmondattá kell átalakítani. Célszerűen felépítünk egy mondatformátumot. Legyen ez az L(i) tömb a szabványos NC utasításrendszernek megfelelően, pl:

L(1) -N sorszám
L(2) - G funkciók
L(3) - X koordináta
L(4) - Y koordináta
L(5) - Z koordináta
L(6) - S fordulatszám
L(7) - F előtolás
L(8) - T szerszámváltás

A posztprocesszor a CLDATA rekordokat egyenként olvassa, osztályozza feldolgozza (10.11. ábra) és folyamatosan tölti az aktuális sorszámú tömböt egészen addig, amíg egy újabb vezetőmondat ki nem kerekedik. Ezt általában mozgásutasítás (GOTO rekord) jelzi. Ekkor lezárja az aktuális mondatot, újat nyit, törölve az előző adatokat. A folyamat ismétlődik a FINI rekord beérkezéséig, amikor lezárja a vezérlőprogramot, számítja az összegzett normaadatokat, a megfelelő perifériára küldi, majd szerkeszti a megfelelő dokumentumokat.



Szerszám típus	Főkártya sorszáma	Szerszámok száma a köv. kártyán	Befogórúd jele	Rúdátmérő D_r [mm]	Beállítási méret (bal)							Beállítási méret (jobb)						Befoghatósági kódszám				Alkalmazhatósági kódszám	
					L_B [mm]	H_1 [mm]	H_2 [mm]	H_3 [mm]	H_4 [mm]	H_5 [mm]	L_6 [mm]	L_J [mm]	H_J [mm]	H_6 [mm]	H_7 [mm]	K [fok]	K_1 [fok]	T [fok]	T_1 [fok]	$D_{meg}^{m,n}$ [mm]				
312																							
Jellemzők / Kés	D_{sz} [mm]	L [mm]	L_1 [mm]	L_2 [mm]	L_3 [mm]	L_4 [mm]	L_5 [mm]	L_6 [mm]	L_7 [mm]														
								0						0									

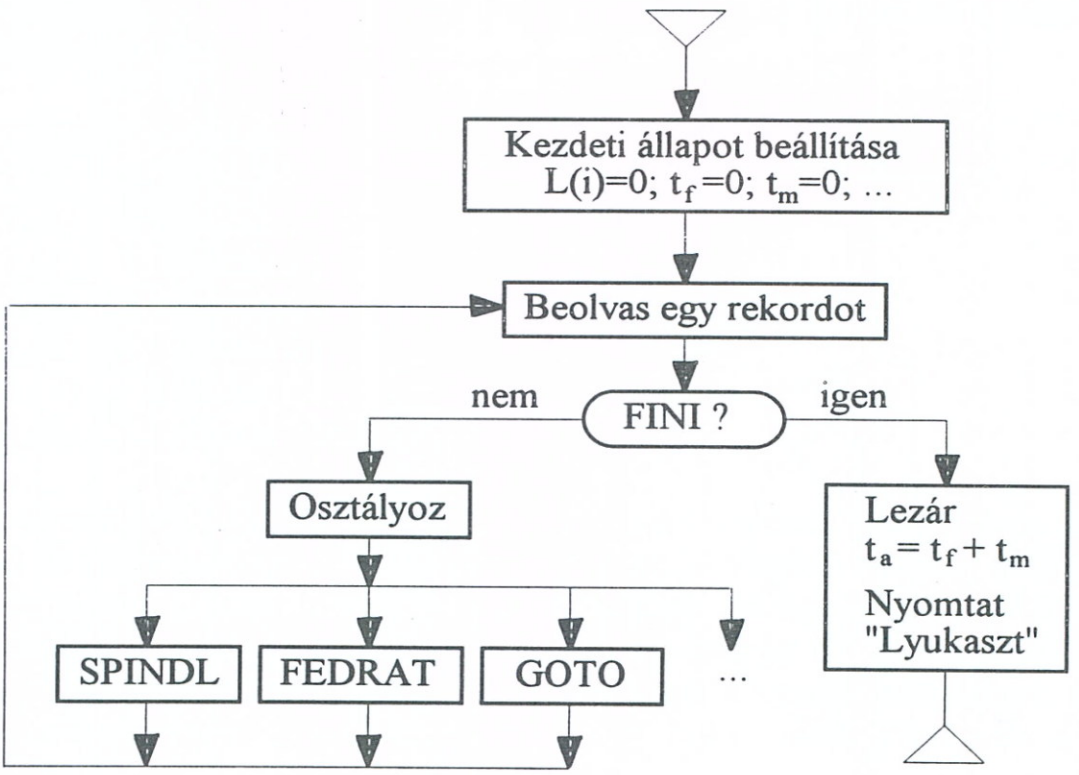
10.9. ábra: **FORTAP szerszámkártya**

Felhasználó	Szerszámgép	**FORTAP** követőkártya esztergaszerszámokhoz	Szerszámtípus	Főkártya sorsz.

Szerszám alkalmazhatósági jellemzői														
Szerszám azonosító	bal oldali kés												jobb oldali kés	
	Jele	Szerszám anyagának kódszáma SZA	Homlokszög γ [fok]	B [mm]	R_1 [mm]	R_2 [mm]	Minőségi mutató K_{SZA}	Éltartam T [min]	maximális előtolás f_{max} [mm/ford]	maximális fogásmélység a_{max} [mm]	max forgácsolóerő F_{max} [N]		Jele	

10.10. ábra: FORTAP követőkártya

A rokon rekordok feldolgozását ésszerűen egy-egy eljárásban, szubrutinban gyűjtjük össze. A "jobb" rendszerek hatékony eszközökkel (posztprocesszor "generátor") segítik és gyorsítják a posztprocesszorok készítését.



10.11 ábra: A posztprocesszor működése

Felhasznált irodalom:

[1] Taylor, F.W.: On the Art of Metall Cutting,
Transactions of the ASME,vol.28, 1901

[2] Balaksin, B.Sz.: Osznovi tyechnologii masinosztroenyija,
Masgiz, Moszkva, 1966

[3] Szokolovszkij, A.P.: Raszcsoti tocsnosztyi obrabotki na metallorezsuscsih sztankah
Masgiz, Moszkva, 1952

[4] Korszakov, V.Sz.: Tocsnoszty mechanicseszkoj obrabotki,
Masgiz, Moszkva, 1962

[5] Kovan, V.M., Korszakov, V.Sz.: Osznovi technologii masinosztroenyija
Masgiz, Moszkva, 1957

[6] Szokolovszkij, A.P.: Naucsnüje osznovü tyechnologii masinosztroenyija
Masgiz, Moszkva, 1955

[7] Mitrofanov, Sz.P.: A csoportmegmunkálás technológiai alapjai
Műszaki Könyvkiadó, 1962

[8] Ross, D.T.: A generalized technique for symbol manipulation and numerical calculation Comm. of the ACME 4.3., 1961, March.

[9] Goranszkij, G.K.: Raszcsot rezsimov rezanyija pri pomoscsi EVM
Izd. AN BSzSzR, Minszk, 1963

[10] Hatvany, J.: Néhány új irányzat a gépgyártás automatizálásában
III. Automatizálási Kollokvium, Budapest, 1966

[11] Cvetkov,V.D.: Szisztema avtomatizacii projektirovanyija technologicseszkih processzov, Masgiz, Moszkva, 1972

[12] Goranszkij,G.K.et all.: Avtomatizacija technicseszkova normirovanyija rabot na metallorezsuscsih sztankah, Masgiz, Moszkva, 1970

11. A GÉPGYÁRTÁS GAZDASÁGTANI ALAPJAI

11.1. Gépgyártási idők és költségek

Gazdaságosnak nevezhető a gyártás, ha a belőle származó bevételek meghaladják a vele kapcsolatos ráfordításokat. A nagyobb nyereség az egységnyi bevételhez tartozó költségek minimalizálásával érhető el. Egy gépipari gazdasági társaság költségei nagyon sokfélék lehetnek (gyártási, anyag, raktározási, üzemeltetési, bérleti, kamat, amortizációs, reklám, stb). E fejezet elsősorban a közvetlen gyártási költségekkel foglalkozik. A gyártási költségek jelentős része a munkára fordított idő függvénye. A gazdaságosság szempontjából tehát igen fontos, hogy a vizsgált gyártási feladat - az előírt feltételek megtartása esetén - mennyi idő alatt hajtható végre. Mindebből következik, hogy a gépipari gyártástechnológiában az idő az egyik legjelentősebb költségtényező. A gazdaságos termelés megvalósítása szempontjából ezért a munkaidő összetevőinek meghatározása és elemzése nagyon fontos feladat.

A munkaidő összetevőinek megállapításánál a műszak idejéből indulunk ki. Ha a dolgozó a munkaidejét nem tölti ki teljesen munkával, az idő felhasználásában fellépnek (felléphetnek) időkiesések, veszteségek. Ezért a munkaidőt - tartalmilag - két részre osztjuk: hasznos és veszteségidőkre.

A hasznos idő két fő részre tagozódik: az előkészületi és a befejezési időre ($t_{e,b}$) valamint a darabidőre (t_d) .

Előkészületi és befejezési időnek nevezzük azt az időt, amely alatt a munkás megismerkedik a végzendő munkával, tanulmányozza a rajzot, a művelettervet, illetve a műveleti utasítást, a munkafeladatot megbeszéli a művezetővel, beállítja gépet, befogja a készülékeket, előkészíti a szerszámokat, majd a munka befejeztével mindezeket olyan állapotba helyezi, hogy újabb, más munkafeladatok legyenek elvégezhetők.

Az előkészületi és befejezési idő nem minden darabnál szükséges, hanem csak a sorozat kezdetén és végén. Minnél nagyobb a sorozatnagyság (S), annál kisebb az egy darabra jutó előkészületi és befejezési idő.

A darabidő tartalmazza mindazokat a munkaráfordításokat, amelyek az előkészületi (befejezési) munkákon kívül szükségesek. A darabidőt műveleti alapidőre (röviden alapidőre) és szükséges munkamegszakításokra osztják fel.

A műveleti alapidőt az jellemzi, hogy tartama az adott darabszámmal arányos, és minden eleme minden munkadarabnál meghatározott sorrendben megismétlődik. Részei a főidő (t_f) és a mellékidő (t_m).

A főidőhöz tartoznak azok a munkaelemek, amelyekkel a munkadarabon alak, méret, tulajdonság vagy külalak szempontjából elérik azokat a változtatásokat, amelyekre az adott technológiai folyamat irányul.

A mellékidőhöz tartoznak azok a munkaelemek, amelyeket a munkás a főidőben végrehajtandó munka elvégzésének biztosítása érdekében folytatott tevékenységekre

fordít. Ilyen tevékenységek: a megmunkálandó darabok beállítása, rögzítése, a szerszám beállítása, az ellenőrző mérések végzése stb. A mellékidők minden darabnál vagy bizonyos munkamennyiségeknél szabályszerűen ismétlődnek. A főidő tartama alatt végzendő olyan munkák lefolytatásához szükségesek, amelyek a munkadarabon, vagy annak anyagában nem idéznek elő változást.

A főidő is, valamint a mellékidő is a munka végzése szerint gépi és kézi időre bontható. Gépi időnek nevezzük a munkának azt az időszakát, amely alatt a munkás vagy a vezérlés felügyelete mellett a gép (berendezés) végzi a munkát.

Kézi időnek az olyan munkára fordított időt nevezzük, amely alatt a munkás gép alkalmazása nélkül dolgozik.

A munkaidő-csoportosításnál külön figyelembe kell venni, hogy a főidő és a mellékidő elemeit alkotó gépi, illetve kézi munkák időkben nem esnek-e egybe, nem fedik-e egymást. Előfordulhat ugyanis, hogy a gépi idő alatt a munkás elvégzi a mellékidő egyes elemeit (pl. hosszabb tengelyeket gépi előtolással esztergál, és közben ellenőrző méréseket végez). Ilyen esetben a norma-megállapításnál feltüntetik, hogy mely időelemek esnek egybe, vagyis melyek azok a kézi munkák, amelyeket a gép futása közben el lehet végezni.

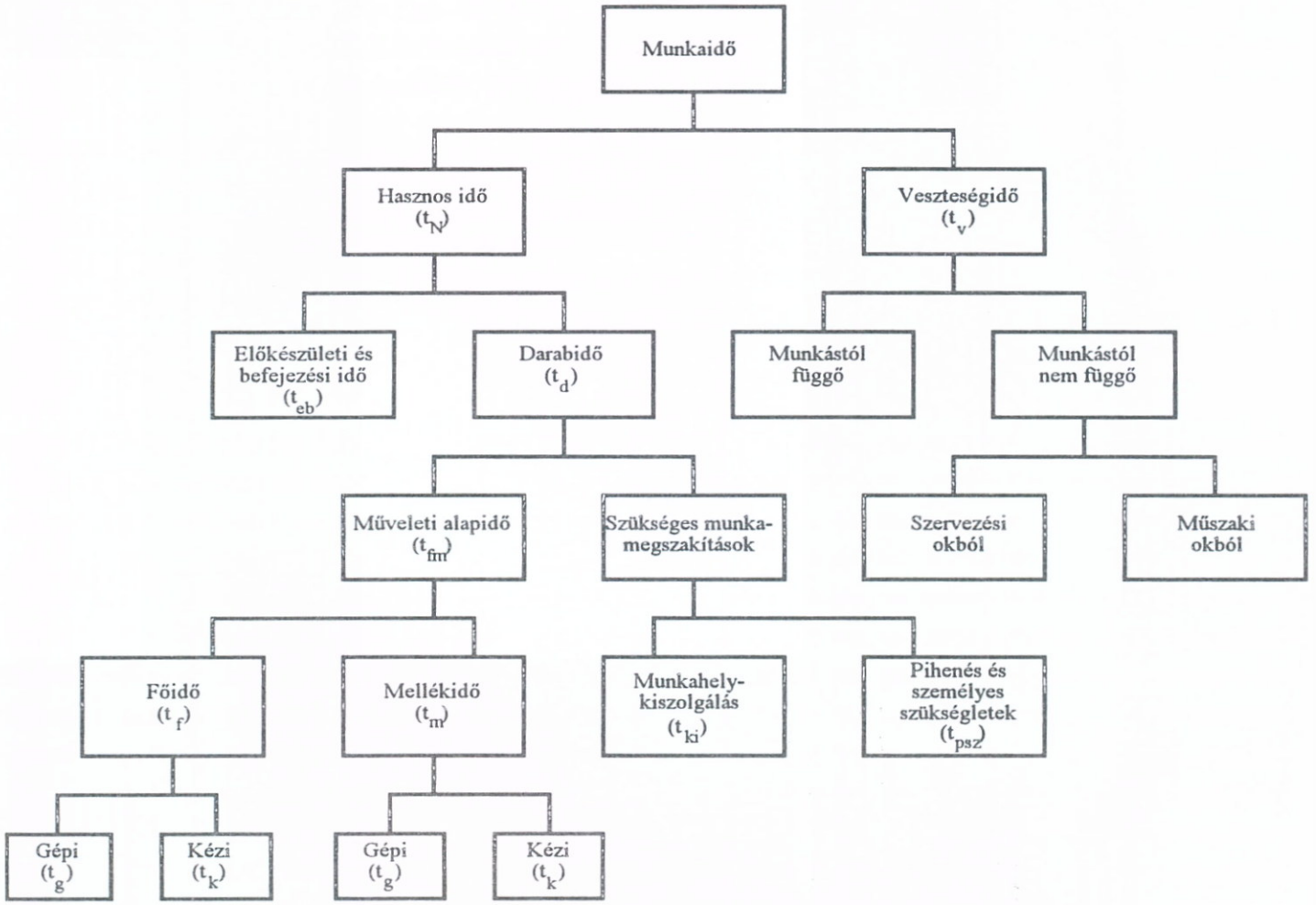
A munkaidő felosztásában az alapidő mellett a másik csoportot a szükségszerű munkamegszakítások alkotják. Ilyen a munkahely kiszolgálására fordított idő. Az eredményes termelés érdekében szükséges, hogy a munkahelyet tisztán, rendben tartsák, a gépeket időnként tisztítsák. A munkás tehát munkaidejének bizonyos részét munkahelyének, gépének gondozására fordítja. Ez a munka nem kapcsolódik közvetlenül a termelési feladathoz, javarészt a műszak elején vagy végén látják el, időtartamát nem a termelési feladat, hanem a munkahely termelőberendezésének jellege, a gépkarbantartás és egyéb műszaki és szervezési feltételek határozzák meg. A munkás részére biztosítani kell és a normában számításba kell venni azt az időt, amely az említett feladatok ellátásához szükséges.

A munkavégzéshez szorosan hozzátartozik a pihenésre és a személyes szükségletekre fordított idő. A pihenési idő magában foglalja azokat a szüneteket, amelyeket elfáradás miatt figyelembe kell vennünk. A legújabb kutatások bebizonyították, hogy a megfelelő időszakokban biztosított pihenések (torna, légzési gyakorlatok) a fáradtság hatását csökkentik, a munkavégzési teljesítményt pedig kedvezően befolyásolják.

A munkaidő összetevőit a 11.1. ábrán összefüggéseiben láthatjuk. A munkaidő egy részét a munkás részint szervezési, részint műszaki okokból, valamint a vezetés, illetve a saját hibájából felesleges várakozással tölti. Ezek a munkaidőkiesések a munkástól függő és a munkástól független okokból adódnak.

A munkástól függő időveszteségek oka lehet a munka késői kezdése és idő előtti abbahagyása, a munkahely indokolatlan elhagyása, a felesleges beszélgetés és egyebek.

A munkástól független időveszteségek származhatnak műszaki hibákból (géphibából, energiahiányból, szerszám- vagy készülékhibából), a kiadott rajzokba és egyéb műszaki dokumentációba került hibákból. A munkástól nem függő veszteségeknek külön csoportja a szervezési hiányosságokból származó időkiesés. Ennek számos oka lehet. Leggyakoribb a munkalap és a rajz után való járás, a szerszám-és készülékigénylés, a mester vagy az ellenőr - esetleg segédmunkás - keresése, a darura való várakozás, anyagkeresés, stb.



11.1. ábra: A munkaidő összetevői

A darabidőt tehát - az előzőeket figyelembe véve - az alábbi képlettel határozhatjuk meg:

$$t_d \equiv t_{f,m}(1+\frac{t_{ki}+t_{psz}}{100}) \quad \text{[perc]},$$

A képletbe a t_{ki} és t_{psz} idők a műveleti alapidő százalékben helyettesítendők.

Normaidő (hasznos idő)

$$t_N \equiv \frac{t_{e,b}}{s} + t_d \qquad \text{[perc]}$$

Az egy sorozat elkészítéséhez szükséges idő:

$$t_{sor} = t_{e,b} + s\, t_d \qquad \text{[perc]}$$

ahol

s a sorozatnagyság.

A gyártásra fordított idő jelentős részét a műveleti alapidő teszi ki, amely alapvetően - forgácsolási műveleteknél - a beállított forgácsolási paraméterek függvénye. Vegyük a legegyszerűbb forgácsolási esetet, az esztergálást. Ez esetben a főidő a következőképpen számolható

$$t_f = \frac{L}{n \cdot f} \qquad \text{[min]}$$

ahol:

L	az esztergálandó hossz	[mm]
n	a fordulatszám	[ford/min]
f	az előtolás	[mm/ford]

Vagyis, ha gazdaságosan akarunk gyártani, egyik nagyon fontos feladat - a technológiai tervezés során - az optimális forgácsolási paraméterek meghatározása.

11.2. A gyártási folyamatok optimálásának matematikai modellje

A forgácsolási folyamatot akkor tekintjük optimálisnak, ha olyan technológiai adatokkal megy végbe, amelyek mellett a kitűzött gazdasági célt a legjobban megközelíthetjük. A gazdasági cél a legkisebb költség, a legkisebb megmunkálási idő vagy az idővel reciprok legnagyobb termelékenység, valamely kiemelt költség-vagy időösszetevő legkisebb vagy valamely időegységre értelmezett nyereség legnagyobb értéke lehet.

A folyamat gazdaságosságának alapproblémája, hogy a fogásmélység, az előtolás és a forgácsolási sebesség növelésekor a gépi főidő, valamint az azzal kapcsolatos költségek csökkennek, a szerszám kopása, az ezzel kapcsolatos időveszteségek és költségek viszont növekednek. A feladat tehát olyan kompromisszum, olyan optimumpont megkeresése, amelyben a költségek, az időkomponensek összege legkisebb, vagy a nyereség a legnagyobb.

Vizsgáljuk meg rendre a legfontosabb optimumfeltételeket és fejezzük ki azokat a technológiai adatok és a megmunkálás egyéb paraméterei függvényeként. Ebben a fejezetben az optimalitást a műveletelem szintjén értelmezzük. Műveletelemnek tekintjük valamely összefüggő - vagy összefüggőként kezelhető - ráhagyás leválasztását egy szerszámmal egy vagy több fogásban. Egyelőre feltételezzük, hogy a teljes művelet akkor optimális, ha külön-külön minden műveletelem optimális. Mint minden optimálási feladat esetében itt is szükség van feltételrendszerre és célfüggvényre.

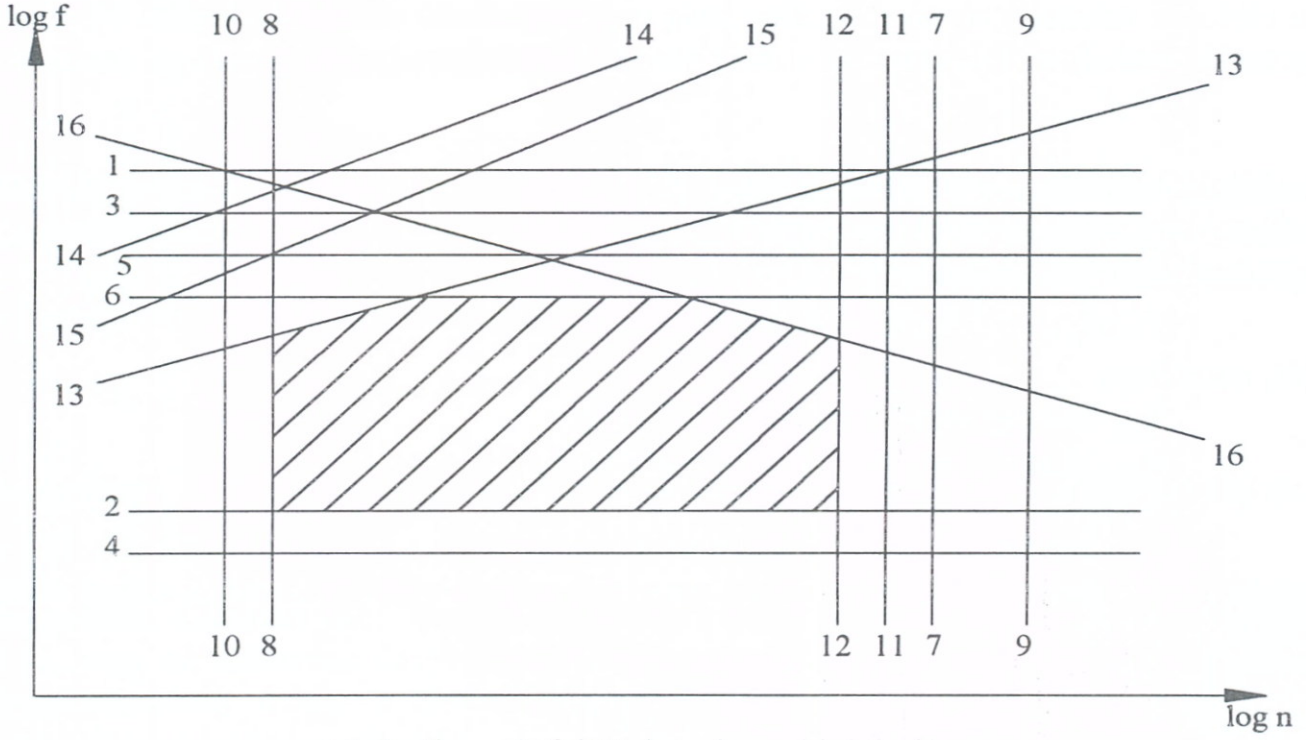
11.2.1. Az optimumkeresés határai, a feltételrendszerek

Az optimális munkapont helyét az aktuális gazdasági stratégia és az adott MKGS-rendszer tulajdonságai határozzák meg. Ugyanakkor az MKGS-rendszer és a konkrét megmunkálási eset jellemzői bizonyos határokon túlkorlátozzák a gazdasági stratégia érvényre juttatását.

A munkadarab minőségi jellemzői, a rendszer elemeinek konstrukciós, szilárdsági, és merevségi tulajdonságai, a forgácsolási folyamat stabilitása, a szerszámgép teljesítménye, a fogásvételi, az előtolás-és fordulatszámtartományok határai, a szerszám geometriai, konstrukciós és szilárdsági tulajdonságai stb. a korlátozó feltételek egész rendszerét alkotják. Nyilvánvaló, hogy az optimumkeresés során csak olyan forgácsolási paraméterek jöhetnek számításba, amelyek valamennyi korlátozó feltételt kielégítik. A lehetséges megoldások halmazát meghatározó korlátozások rendszere adja a feltételrendszert.

A korlátok egy része teljesen triviális, de vannak közöttük összetett, mélyebb elemzést igénylő feltételek is. A feltételrendszert a-n-f koordinátarendszerben szokás szemléltetni igen gyakran - az egyszerűbb ábrázolás és analízis kedvéért - logaritmikus skálák alkalmazásával.

Vizsgáljuk meg a leggyakoribb korlátozásokat. A szemléletesség kedvéért csak a fordulatszám és előtoláskorlátokat ábrázoljuk log n- log f koordinátarendszerben (11.2. ábra) . A háromdimenziós feltételrendszer hasonló módon épül fel. Nyilvánvaló, hogy ábránkon minden olyan korlátot, amelynek értéke a fogásmélységtől függ, valamely a=konst. érték feltételezésével tüntettünk fel.



11.2. ábra: A feltételrendszer kialakulása

Az előző pontban kifejtettek alapján minden olyan tényezőt, amelynek értéke változó (ráhagyás, keménység, forgácsolóképesség stb), a folyamat biztonságossága végett a legkedvezőtlenebb értékkel vesszük figyelembe. Ez a feltételezés szükségszerűen csökkenti a folyamat intenzitását, de lehetővé teszi, hogy a tényezőket determinisztikusokként kezeljük.

A korlátok sok szempont szerint csoportosíthatók. Kövessünk olyan rendszerezést, amely a legjobban alkalmas a feltételrendszer kialakulásának szemléltetésére.

Előtoláskorlátok

A feltételrendszer egyes elemei csak az előtolás értékét korlátozzák. Más korlátok összetettek ugyan, de a folyamat jellegéből adódóan a fordulatszám hatása elhanyagolható. Vannak korlátok, amelyek a fogásmélységtől is függnek, de kétdimenziós modellünkben (a=konst) ezek előtoláskorlátként viselkednek.

Nyilvánvaló, hogy az előtolás nem lehet nagyobb a szerszámgépen beállítható legnagyobb értéknél (15.13.ábra 1-1 egyenes), azaz

$$f < f_{gmax}$$

és nem lehet kisebb, mint az előtolásskála legkisebb tagja (2-2), vagyis

$$f > f_{gmin}$$

Általában meghatározható a szerszám konstrukciójából eredő legnagyobb előtolás és így (3-3)

$$f < f_{sz\,max}$$

Az előtolás valamely technológiailag még megengedhető minimális értéke (4-4) alatt a forgácsolás szabályos folyamataként már nem tartható fenn, ezért

$$f > f_{tech.min}$$

Az előtolást általában maximálja a felületi érdesség is. Maráskor és az esztergálás olyan eseteiben, amikor a nyomot a csúcs lekerekítése határozza meg - ennek feltétele, hogy $R_a < 222r\,(1-\cos\tau)$ -, jól használható az (5-5)

$$f \langle 2K_a\sqrt{10^{-3}R_a(9r-0{,}02R_a)}$$

korlát, amelyben

R_a a megengedett felületi érdesség,
τ a szerszám mellékélelhelyezési szöge,
r a szerszám sugara,
K_a az anyag tulajdonságait tükröző tényező.

Amennyiben a megengedhető érdesség nagyobb, s így a τ elhelyezkedési szögű mellékél is nyomot hagy, azaz

$$r\,(1-\cos\tau) < R_a < 222r\,(1-\cos\chi),$$

ahol χ a szerszám főelhelyezkedési szöge, akkor

$$f \le K_a \cdot \left[\frac{r(1-\cos\tau)+0{,}045R_a\cos\tau}{\sin\tau} + \sqrt{10^{-3}-R_a(r-0{,}02R_a)}\right]$$

Ha a megengedett érdesség olyan nagy, hogy már a χ elhelyezkedési szügű főél nyoma is észlelhető, azaz

$$R_a > 222r\,(1-\cos\chi)$$

a korlátra az

$$f \le K_a\left[\frac{r(1-\cos\tau)+0{,}0045R_a\cos\tau}{\sin\tau} + \frac{r(1-\cos\chi)+0{,}0045R_a\cos\chi}{\sin\chi}\right]$$

kifejezést alkalmazhatjuk.

Nehezen kezelhető előtoláskorlátokat jelent a rezonanciatartományok kiiktatása. Ábránkon ezt a törekvést felső előtoláskorlátként tüntettük fel (6-6), ez azonban inkább csak jelzi a problémát. A valóságban a rezonancia jelenségek részekre darabolják a keresési tartományt, azaz több alsó és felső korlátpárt kell figyelembe vennünk.

Fordulatszámkorlátok

Az e csoportba sorolható feltételek egy része kifejezett fordulatszámkorlát, a másik része viszont a forgácsolási sebességre vonatkozik, s csak a dimenziók egységesítése révén válik a választható fordulatszámot alulról vagy felülről behatároló feltétellé.
Kézenfekvő korlát az alkalmazott szerszámgépen beállítható legnagyobb fordulatszám (7-7), azaz

$$n < n_{g\,max}$$

A beállítható legkisebb fordulatszám (8-8) az

$$n > n_{g\,min}$$

korlátot adja. Belátható, hogy a beállítható fordulatszámokat korlátozza a forgácsolási sebesség technológiailag lehetséges maximuma és minimuma is. E korlátozás kézenfekvő esete a Taylor-összefüggés vagy az éppen alkalmazott más típusú éltartamösszefüggés érvényességi tartományának felső határa (9-9), amely az

$$n < n_{tech\,max}$$

korlátot jelenti. Az éltartamképlet érvényességi tartományának alsó határát (10-10) az

$$n > n_{tech\,min}$$

korlát mutatja. Gyakori eset, hogy a fordulatszámot korlátozni kell a befogás labilitása (11-11), vagy az alkatrész nagymérvű kiegyensúlyozatlansága miatt (12-12). Előfordul, pl. köszörüléskor, hogy a fordulatszámot alulról kell korlátozni a túlzott helyi felmelegedés megelőzése céljából.
Az előtoláshoz hasonlóan gondot okoz a rezonanciatartományok kiiktatásához szükséges fordulatszámkorlátok meghatározása is.

Fogásmélység korlátok

A fogásmélység növelésének természetes határa a ráhagyás nagysága. Igen gyakran a szerszámgép konstrukciós adottságai szabják meg a fogásmélység alsó és felső határát. Jó példa erre a hosszelőtolásos furat- és palástköszörűgép vagy a síkköszörűgép.
Legtöbbször a szerszám konstrukciója - pl. a lapka mérete, vagy a csigasüllyesztő bevezető kúpjának mérete - is korlátozza a fogásmélység legnagyobb megengedhető értékét.
A legtöbb megmunkálási módra meghatározható a fogásmélységnek olyan legkisebb értéke, amely alatt a folyamat instabillá válik, sőt a forgácsolás megszűnik. Ez a fogásmélység alulról korlátozza a keresési tartományt.
Ábránkon az ilyen "tiszta" fogásmélység korlátokat természetesen nem tudjuk feltüntetni.

A forgácsolóerővel összefüggő korlátok

Az erővel kapcsolatos korlátok egy része valamely erőkomponens értékére vonatkozik: az előtolómű szerkezeti adottságai miatt az előtolásirányú komponens (13-13), a szerszám véges szilárdsága és - főként dinamikai - merevsége miatt a forgácsolóerő (14-14) értékét is korlátozni kell, természetesen felülről. A példa egyszerűsége kedvéért vizsgáljuk meg a korlátot esztergálás esetére.

A vizsgált komponens értéke nem haladhat meg valamely számszerűen meghatározott küszöbértéket, azaz

$$F \leq F_{meg}$$

vagy behelyettesítve

$$C_F a^{yF} f^{xF} v^{zF} \leq F_{meg}$$

A forgácsolási sebességet a fordulatszám segítségével kifejezve átrendezés után a korlátra az

$$f^{xF} n^{zF} \leq \frac{F_{meg}}{C_F a^{yF}} \left(\frac{1000}{\pi d}\right)^{zF}$$

kifejezést kapjuk. Természetesen mind a forgácsolóerőre, mind az előtolás irányú erőre hasonló alakú korlátot kell felírnunk.

Hasonló alakú korlátozó feltételeket kapunk a forgácsoláskor keletkező forgatónyomatékokra is, amelyeket a befogás stabilitása, a rendszer elemeinek merevsége és a nem kívánatos lengések miatt szükséges figyelembe venni. Ha a megengedhető legnagyobb forgatónyomaték M_{max} *(Nm)*, a korlátra az

$$f^{x_F} v^{z_F} \leq \frac{2M_{\max}}{C_F a^{yF} d}$$

kifejezést kapjuk.

Az erőből származtatható a teljesítménykorlát (16-16) is:

$$f^{x_F} n^{1+z_F} \leq \frac{P_m \cdot \eta \cdot 60 \cdot 1000}{C_F a^{y_F}} \left(\frac{1000}{\pi d}\right)^{1+z_F}$$

ahol

P_m a főmotor teljesítménye, kW

η a motor hatásfoka

Egyéb korlátok

Az eddigiekben csak olyan feltételeket tárgyaltunk, amelyek közösek valamennyi forgácsoló eljárásra. Természetesen előfordulnak egy-egy megmunkálásra jellemző sajátos korlátok is. Ilyen pl. az előtolás és az átmérő összefüggése fúráskor, amelyet általában az

$$f = C \cdot d^p$$

alakban szoktak megadni. Szintén a fűrásra jellemző korlát a forgónyomaték legnagyobb értéke, amely még nem veszélyes a szerszám törése szempontjából.

Az esztergálási folyamat stabilitása szemszögéből fontos, hogy a b forgácsszélesség és a h forgácsvastagság viszonya bizonyos határok között legyen. Ellenkező esetben ugyanis káros lengési jelenségek léphetnek fel.

Felírhatjuk tehát, hogy

$$\frac{b}{h} \leq \lambda_{max}$$

vagy a forgácsolási paramétereket a χ főélelhelyezkedési szöggel kifejezve

$$\frac{a}{f \sin^2 \chi} \leq \lambda_{max}$$

és végül a korlát az

$$f \geq \frac{a}{\lambda_{max} \sin^2 \chi}$$

alakot ölti.

Az előtolás felső korlátjára az

$$f \leq \frac{a}{\lambda_{min} \sin^2 \chi}$$

kifejezést kapjuk.

A λ értékei a munkadarab és a szerszám anyagától függenek és széles határok között (4-20) változnak.

A lehetséges megoldások halmaza

A tárgyalt korlátozó feltételeket egyenlőségekké alakítva és a *log n-log f* koordinátarendszerben ábrázolva azok egyenesek lesznek, amelyek általános alakja

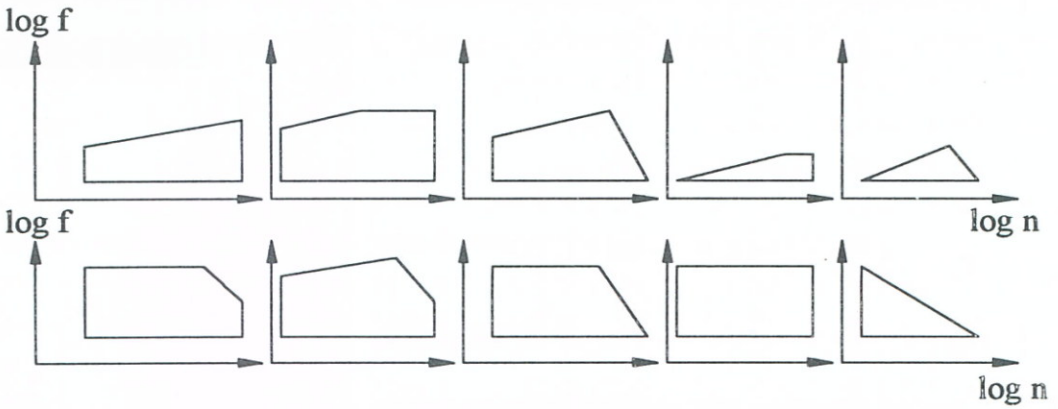
$$y_j \log f + z_j \log n = C_j$$

Az egyenesek irányát az y_j és a z_j értékei határozzák meg.

Az egyenesek által kimetszett és a 11.2. ábrán bevonalkázott terület bármely pontja eleget tesz valamennyi korlátozó feltételnek, így ez adja a forgácsolás megengedett tartományát. A megoldásokat a tartományban vagy a tartomány határán kell keresni.

A megoldások száma így is végtelen, ha az előtolás vagy a fordulatszám fokozatmentesen szabályozható és véges, ha mindkettő csak diszkrét értékeket vehet fel.

Teljesen alkalomszerű, hogy a sok korlát közül melyik lesz az a néhány, amely valóban részt vesz valamely konkrét esetben a lehetséges megoldásokat határoló tartomány kialakításában. Alkalomszerű a tartomány alakja is. A legáltalánosabbtól eltérő jellegzetes alakzatokat a 11.3 ábrán mutatjuk be.



11.3. ábra: A keresési tartomány jellegzetes alakjai

11.2.2. A forgácsolási paraméterek meghatározásának céfüggvényei

A célfüggvények a gazdasági cél kifejezésére szolgálnak. E jegyzet keretei a két leggyakrabban alkalmazott célfüggvény ismertetését teszik lehetővé.

A legkisebb költségek célfüggvénye

Egy-egy művelet vagy műveletelem költsége sok összetevőből áll. E komponensek egy része független a technológiai adatoktól, mások viszont megváltoznak a, f vagy v (vagy n-fordulatszám) módosításával.

Határozzuk meg a költségeknek a forgácsolási paraméterektől függő összetevőit egy fogásra, adott fogásmélység mellett. A megmunkálási hosszt L-lel jelöljük.

Mivel a szerszám egy perc alatt a legtöbb megmunkálási mód esetében nf utat tesz meg, az L hossz megmunkálásának ideje

$$t_L = \frac{L}{nf}[\text{min}].$$

Ha a gép egy percnyi munkájának költsége C_M Ft/min, akkor ez L hosszon

$$K_f = C_M t_L \quad [Ft]$$

költséget ad. A C_M percköltség helyes meghatározása a költségoptimálás egyik kulcskérdése sajnos nehézségekbe ütközik. Sajnálatos módon iparunkban még mindig a közvetlen bérre vetített rezsikulcsos költség-elszámolási rendszert alkalmazzák, holott azt a fejlett ipari országok már régen elvetették. Ez a rendszer teljesen elkeni a különböző munkahelyek költségkülönbségeit és alkalmatlan a differenciált munkahelyi költségek kimutatására.

Bálint Lajos a

$$C_M = (1 + \frac{R}{100})b + \frac{A_g(\frac{1}{a} + \frac{R_g}{100})}{60H_{év}} \quad \text{[Ft/min]}$$

viszonylag egyszerű összefüggést ajánlja, amelyben

b a gépmunkás percbére, Ft/min;
R bér-kiegészítési kulcs %;
A_g a szerszámgép értéke, Ft;
a amortizációs idő, év;
R_g a szerszámgép használatával kapcsolatos járulékos költségek (karbantartás, energia, segédanyagok, eszközlekötési járulék stb. kulcsa, %)
$H_{év}$ a szerszámgép éves üzemideje, h.

Az összefüggés alkalmazásához viszonylag kevés adat szükséges, hátránya viszont, hogy még mindig tartalmaz rezsikulcsokat. Az igazán jó megoldást az adja, ha ezeket teljesen kiküszöböljük és a költségösszetevőket pontosan számítjuk.
Tételezzük fel, hogy a megmunkáláskor ismert a szerszám éltartama. Jelölje ezt T [min]. Ha az egy éltartamra eső szerszámköltség K_{sz} [Ft], akkor ennek L hossz megmunkálására eső része

$$K_{II} = K_{sz}\frac{t_L}{T}. \qquad [Ft]$$

Ez azonban nem a szerszámmal kapcsolatos teljes költség, hiszen általában a szerszámcserével kapcsolatosan is felmerülnek költségek. Amikor a szerszámcsere a gép munkaidejének felhasználásával jár, ez a költség

$$K_{III} = C_M t_{cs}\frac{t_L}{T} \qquad [Ft]$$

ahol t_{CS} a szerszámcsere ideje (min), mivel a szerszámcsere ideje egy teljes T éltartamra vonatkozik.
Összegezzük a költségeket:

$$K = K_I + K_{II} + K_{III} = C_M t_L + K_{sz}\frac{t_L}{T} + C_M t_{cs}\frac{t_L}{T} \qquad [Ft]$$

Vezessük be a

$$C_T = \frac{K_{sz}}{C_M} + t_{cs} \qquad [min]$$ jelölést.

Érdekes megfigyelni, hogy K_{sz}/C_M idődimenziójú mennyiség. Ez a hányados tulajdonképpen azt az időt adja meg, amelynek gépköltsége azonos az egy élezésre jutó szerszámköltséggel.
Helyettesítsük be a t_L értékét is:

$$K = \frac{L}{nf} C_M \left(1 + \frac{C_T}{T}\right) \qquad [Ft]$$

A képletben a $\frac{C_T}{T}$ dimenzió nélküli mennyiség azt fejezi ki, hogy a gép időegységnyi munkájának költségéhez e költség hányadrészét kell hozzáadni, hogy tekintetbe vegyük a szerszámmal kapcsolatos költségeket.

Mivel az optimáláskor a megmunkált hossznak nincsen jelentősége, célszerű a számításokat L=1 mm hosszra elvégezni.
Ekkor

$$K = \frac{C_M}{nf}\left(1+\frac{C_T}{T}\right) \quad [\text{Ft}]$$

Az összefüggést felírhatjuk olyan alakban is, amely egyúttal kifejezi a célunkat, az optimumfeltételt is:

$$K=\frac{C_M}{nf}\left(1+\frac{C_T}{T}\right)\rightarrow \min,$$

azaz feladatunk olyan paraméterek - jelen esetben fordulatszám és előtolás - meghatározása, amelyek mellett a megmunkálási költségek a lehető legalacsonyabbak. Az optimumfeltétel megfogalmazásának ilyen alakját célfüggvénynek nevezzük.

Általános esetben természetesen nem csak a fordulatszám és az előtolás, hanem a fogások számának és az egyes fogások értékének optimális értékét is meg kell határozni.

Ha a megmunkálási ráhagyás egy fogásban nyilvánvalóan nem választható le, vagy nem egyértelműen egy fogás mellett kapjuk a legkisebb költségeket, akkor a fogások száma és a fogásmélység is ismeretlenné s feladatunk háromdimenzióssá válik. A többfogásos műveletelem költsége az egyes fogások költségeinek összegeként írható fel. Ha a ráhagyást k fogásban választjuk le, akkor a műveletelem költsége

$$K=\sum_{i=1}^{k} K_i$$

Egy fogásra a költség a

$$K_i=\frac{C_M L_i}{f_i n_i}\left(1+\frac{C_t}{T_i}\right)+\frac{C_M l_i}{f_{vfi}}+C_M t_{vei}$$

alakban írható fel, ahol

l_i a szerszám visszafutási útja, min;
f_{vfi} a visszafutás sebessége, mm/min;
t_{vei} a fogáshoz tartozó veszteségidők (kapcsolás, pozícionálás stb.), min.

A műveletelem minimális költségére a

$$K = \min \sum_{i=1}^{k}\left[\frac{C_M L_i}{f_i n_i}\left(1+\frac{C_T}{T_i}\right)+\frac{C_M l_i}{f_{vfi}}+C_M t_{vei}\right]$$

összefüggés írható fel.

A maximális termelékenység célfüggvénye

Gyakran a legkisebb megmunkálási idő a cél. Ilyenkor szokás a legnagyobb termelékenység célfüggvényéről beszélni. A megmunkálási idő a megmunkálási költség

összefüggéséből könnyen megkapható, csupán a $C_M=1$ és $K_{sz}=0$ értékeket kell behelyettesíteni. Ily módon $C_T=t_{cs}$ és a célfüggvényre a

$$t = \min\left[\frac{1}{fn}(1+\frac{C_T}{T})\right]$$

kifejezést kapjuk.

Könnyen belátható, hogy a többfogásos megmunkálás célfüggvényére a

$$t = \min\sum_{i=1}^{k}\left[\frac{L_i}{f_i n_i}(1+\frac{C_T}{T_i})+\frac{l_i}{f_{vfi}}+t_{vei}\right]$$

összefüggést kapjuk.

11.2.3. A forgácsoló megmunkálás matematikai modelljének elemei

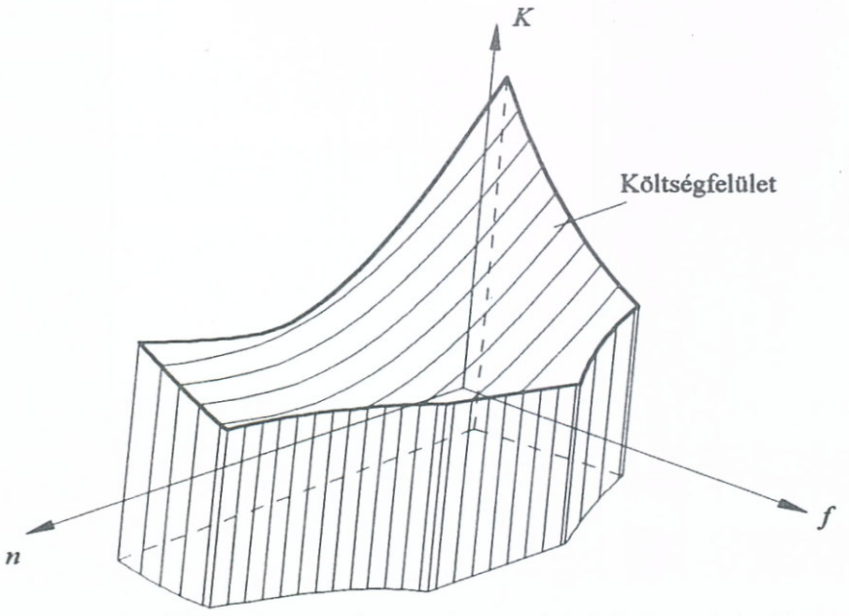
A matematikai alakban felírt **feltételrendszer** (amely nem más, mint egyenlőtlenségek rendszere), a **célfüggvény** és az **éltartam összefüggés** együttesen alkotják a fogácsolási paraméterek meghatározásának matematikai modelljét.

A modell harmadik elemeként a Taylor féle éltartam összefüggést alkalmazzuk:

$$T = C_T a^{xT} f^{yT} v^{zT}$$

A modell három összetevője meghatározza az optimumkeresés felületét és az optimum kritériumát. Ha csak az előtolást és a fordulaszámot vizsgáljuk, akkor a szokványos háromdimenziós térben ábrázolható felületet, pl. költségfelületet kapunk (11.4.ábra). Több változó esetén sokdimenziós hiperterekhez és hiperfelületekhez jutunk.

Az optimális forgácsolási paraméterek meghatározása nem más, mint a költségfelületen annak a pontnak a megkeresése, amely kielégíti a célfüggvényben meghatározott feltételt.



11.4. ábra: Az optimumkeresési felület térbeli ábrázolása

11.2.4. Optimumkeresés rögzített fogásmélység mellett

A Goranszkij féle módsze

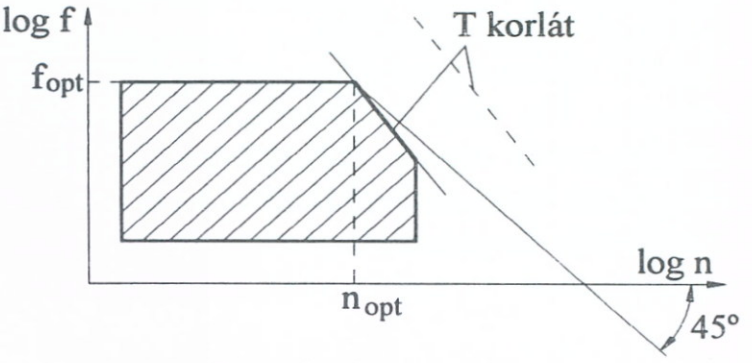
A szovjet Goranszkij érdeme, hogy elsőként szakított az optimálás hagyományos módszereivel, elvetette a zárt kifejezésekkel, egyszerű szélsőértékszámítással meghatározható optimális éltartam alkalmazását, s megalapozta a korszerű számítógépes optimálási módszereket.

Módszerének lényege az alábbiakban foglalható össze: Minden megmunkálási esetben meghatározza a forgácsolási adatok megállapításának konkrét feltételrendszerét. A fogásmélységet adottnak (előre meghatározottnak) veszi, azaz csak az n és f értékét tekinti ismeretlennek. Feltételezi, hogy előre ismert az optimális éltartam, amelyet alsó korlátnak tekint, tehát bevezeti a

$$T = T_{opt}$$

korlátot, amely megfelelő átalakítások után ferde egyenesként ábrázolható a log n- log f koordináta-rendszerben (11.5.ábra). Az optimális éltartamot tehát Goranszkij újabb korlátozó tényezőként beépíti a feltételrendszerbe. Teljesen alkalomszerű, hogy a korlát valóban része lesz-e a keresési tartományt meghatározó sokszögnek, vagy sem (szaggatott vonal).

Az optimális forgácsolási paraméterek meghatározására a lineáris programozás módszerét alkalmazta. Ennek egyszerű grafikus szemléltetése a következő: húzzunk a log n- log f koordinátarendszerben egy - 45° hajlásszögű egyenest, majd ezt jobbról balra (csökkenő n irányban) csúsztassuk el egészen addig, amíg a keresési tartományt nem érinti. Az érintési pont határozza meg az optimális n és f értékeket.



11.5. ábra: A Goranszkij-módszer

Ez a módszer tulajdonképpen azt jelenti, hogy Goranszkij az igen egyszerű

$$n\ f \rightarrow max$$

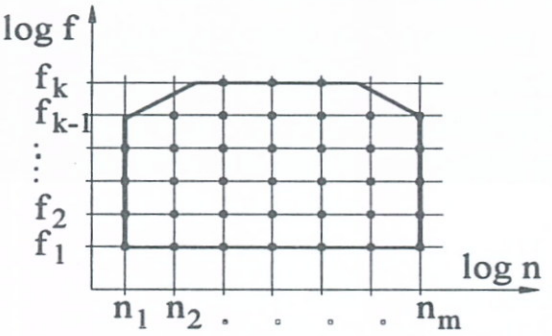
célfüggvényt fogalmazza meg az optimum feltételeként, természetesen az éltartamkorlátot is magában foglaló feltételrendszer határain belül.

A Goranszkij módszerével számított eredmények a gyakorlati esetek többségében helyesek, annak ellenére, hogy a módszer matematikai tévedésen alapul. A valóságban a feladat nem oldható meg lineáris programozási módszerrel, mert míg a feltételrendszer logaritmikus transzformácival linearizálható, ez nem igaz a célfüggvényre. E hiba Goranszkij érdemeit, jelentőségét nem csorbítja, hiszen ő adott indítást az ilyen irányú kutatásnak.

A TAUPROG rendszerben alkalmazott módszer

A Gépipari Technológia Intézetben kidolgozott rendszerben már a 11.2. fejezetben ismertetett feltételrendszert és célfüggvényeket alkalmazzák. Az optimálásra pedig a ha-

gyományos gyártóberendezések sajátosságainak figyelembevételével egy nagyon egyszerű optimáló rendszert dolgoztak ki. Feltételezzük, hogy az előtolás és a fordulatszám nem túl sok diszkrét értéket vehet fel. Ezek az értékek egy háló csomópontjaiként a feltételrendszerrel együtt meghatározzák azokat a pontokat, amelyek a forgácsolás megengedett tartományában vannak és a gépen is beállítható n, f értékeknek felelnek meg (11.6.ábra).



11.6. ábra: Közvetlen keresés diszkrét pontokban

Ezekben a pontokban rendre kiszámíthatják a megmunkálás költségeit a célfüggvény szerint és az eredmények közül kiválasztják azt, amely mellett a költség minimális lesz. Ez az optimális technológia. A megmunkálási idő minimumának keresésekor hasonlóan járnak el.

Az optimumkeresés általános módszere

Tételezzük fel, hogy mind az előtolás, mind a fordulatszám a szerszámgépen fokozatmentesen állítható be. Ekkor az előtolás és a főorsó fordulatszám a feltételrendszer szabta korlátok között bármilyen értéket felvehet.

Nem igaz ugyanez a fogásmélységre. Nyilvánvaló, hogy az adott ráhagyás eltávolításakor az egyes fogásmélységek össszegének a ráhagyás értéket kell adnia, vagyis:

$$a_1+a_2+a_3....+a_k=R,$$

ahol :

R az adott ráhagyás,

a_1, a_2.....az egyes fogásmélységek értékei, k a fogások száma.

Ez a korlátozás különbözik a 11.2. fejezetben megismert korlátoktól, mivel nem csak egy fogásvételre vonatkozik, hanem többet kapcsol össze. Nem egyenlőtlenség, hanem egyenlőség, nem szorzat, hanem összeg típusú. Ez általában azt jelenti, hogy a fogásmélységre is kiterjedő háromdimenziós optimálási feladat nem kezelhető úgy, mint az előtolást és a forgácsolási sebességet tartalmazó kétdimenziós feladat. Természetesen a fogásmélység optimális vagy kvázioptimális megválasztásának is jelentős szerepe van, azonban ennek alapjául csak a kétdimenziós feladatok megoldása szolgálhat. Ezért először azt az esetet elemezzük, amikor a fogásmélység adott. Ekkor a megmunkálási folyamat feltételrendszere a következő általános alakban írható fel:

$$G_{j\min} \le f^{xj} n^{zj} \le G_{j\max},$$

$$j=1,2,3,.....,$$

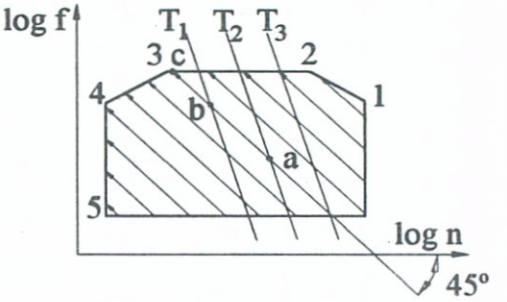
ahol :

G_{jmin} és G_{jmax} alsó és felső korlátértékek.

Amikor csak az egyik érvényes, a másik elmarad. A csak az előtolásra vagy csak a forgácsolási sebességre vonatkozó korlátozások esetében y_j vagy z_j értéke zérus.

Ilyen korlátozások mellett a Taylor-féle éltartam összefüggés érvényességét feltételezve az előtolás és a forgácsolási sebesség optimálására két tétel használható fel.

1. tétel: Az optimumpont csak a keresési tartomány határán lehet, sőt ott sem akárhol, hanem csak azokon a szakaszokon, amelyeket a log n és log f síkban ábrázolt tartomány bármely pontjából felfelé induló -45° hajlásszögű egyenes metsz (11.7.ábra).



11.7. ábra: Az optimumpontok helye

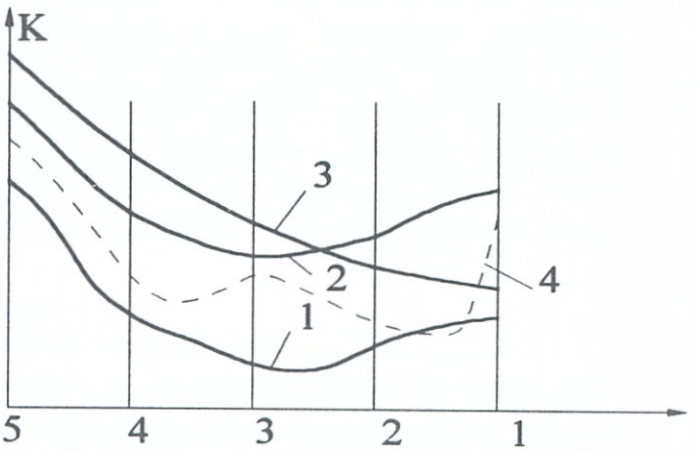
Bármelyik -45° egyenes az nf szorzat értéke állandó, azaz az egyenes felfelé haladva a megmunkálás főideje változatlan marad. Ugyanakkor viszont egyre nő a T éltartam értéke.
A T_1, T_2...T_n éltartam egyenesek meredekebbek, mint a 45°-os egyenes. Hajlásszögük ugyanis:

$$L = arctg(-\frac{z_T}{x_T})$$

s közismert, hogy az éltartam összefüggés ezen kitevőinek hányadosa, általában 10.....3. Nyilvánvaló, hogy $T_1>T_2>....T_n$, így a 11.7. ábra kiemelt egyenesének **a** pontjában az éltartam kisebb, mint a **b** pontban. A főidő állandósága és az éltartam növekedése (azaz a szerszámozási költségek csökenése) azt jelzi, hogy az egyenesen felfelé haladva a költségfüggvény (célfüggvény) értéke egyre kisebb lesz. Csökkenésének a megengedett tartomány határába való ütközés vet gátat. A célfüggvény legkedvezőbb értéke az egyenes mentén a **c** pontban van. Ez a tétel bármelyik olyan egyenesre igaz, amelynek hajlásszöge - 45° és a tartomány pontjából indul, így belátható, hogy az optimális pont csak az 1-2-3-4-5 szakaszon lehet. Ezt a következőkben optimumesélyes határvonalnak nevezzük.
Hogyan találhatjuk meg az optimális pontot? Ebben a következő, már nem ennyire egyszerűen belátható tétel segít.

2. tétel: Az optimum szempontjából esélyes görbén legfeljebb egy lokális szélsőérték pont lehet.

A 2. tételt is az előző példán szemléltetjük. Az 1-2. 2-3, 3-4, 4-5 szakaszokat bennfog-laló egyeneseken a potenciális optimumpontok helye egyszerű szélsőértékszámítással meghatározható. Ha a szélsőérték a megengedett tartományt behatároló valamelyik sza-kaszon van, akkor ez lesz az optimális pont. Ha a szélsőérték pont kívül esik a tartomány határain, akkor a célfüggvény értéke a tartományt határoló szakasz valamelyik szélső pontjában lesz minimális. Ezek



11.8. ábra: Lokális szélsőértékpontok

szerint az optimum az 1,2,3,4,5 pontokon kívül csak 1-2, 2-3, 3-4, 4-5 szakasz valamely szélsőérték pontjában lehet. A lehetséges eseteket a 15.19. ábra szemlélteti. Vagy az 1 jelű esettel találkozunk, amikor valamelyik szakaszon valóban létezik szélső érték, vagy a 2 jelű görbével jelzett eset valósul meg, amikor a két szakasz közös pontja az optimális.

A 3 jelű változat a 2 jelű görbe speciális esete, amikor az optimumpont a tartomány szélére esik. A 4 jelű görbe szerinti eset, amikor a költségfüggvénynek egynél több lokális szélsőérték pontja van az optimum-esélyes határvonalon, az adott matematikai modell esetében lehetetlen. A 2. tétel bizonyításától a jegyzetben eltekintünk.

Az egyenes szakaszok lokális szélsőérték pontjainak meghatározása.

Jellemezze az optimumesélyes határvonal egyik szakaszát az

$f^{xj} \cdot n^{zj} = A_j$ összefüggés. Vezessük be az $N_j = -\frac{z_j}{x_j}$ jelölést, akkor

$$f = E_j n^{Nj},$$

A célfüggvény

$$K = \frac{C_M}{fn} \cdot (1 + \frac{C_K}{T})$$

ahol :

$$T = \frac{C_T}{v^{z_T} \cdot f^{x_T} a^{j_T}} = \frac{C_1}{n^{z_T} f^{x_T}}$$

ahol :

$$C_1 = \frac{C_T}{(\frac{d\pi}{1000})^{z_T} \cdot a^{yT}} \qquad ha \qquad v = \frac{d\pi n}{1000}[m/\min]$$

A C_1 és a következőkben előforduló C_2, C_3, C_4 együtthatók konstansok. Így:

$$K = \frac{C_2}{n^{Nj+1}}\left(1 + \frac{C_K}{T}\right), \qquad C_2 = \frac{C_M}{E_j},$$

$$T = \frac{C_3}{n^{z_T} + n_j x_T}, \quad C_3 = \frac{C_1}{E_j x_T}$$

innen

$$K = C_4 (T^{\alpha} + C_K T^{\alpha-1}),$$

ahol

$$\alpha = \frac{N_j + 1}{z_T + N_j x_T}$$

$$C_4 = C_M C_1^{-\frac{N_j+1}{z_T+N_j x_T}} \cdot E_j^{\frac{(N_j+1)x_T}{z_T+N_j x_T}-1}$$

A célfüggvényt T szerint deriválva kapjuk, hogy

$$\frac{\partial K}{\partial T} = C_4\left[\alpha T^{\alpha-1} + C_K(\alpha-1)T^{\alpha-2}\right],$$

A lokális szélsőérték pontban

$$\frac{\partial K}{\partial T} = 0,$$

ebből

$$\alpha T + C_K(\alpha - 1) = 0$$

Így a j. korláton az éltartam szélsőértéke

$$T_{sz_j} = C_K \frac{1-\alpha}{\alpha} = C_K \frac{z_T + N_j x_T - 1 - N_j}{N_j + 1}$$

N_j -t visszahelyettesítve kapjuk

$$T_{szj} = C_K \frac{z_T - \frac{z_j}{x_j} x_T + \frac{z_j}{x_j} - 1}{1 - \frac{z_j}{x_j}}$$

$$T_{sz_j} = C_K \frac{z_T x_j - z_j x_T + z_j - x_j}{x_j - z_j + x_j}$$

Nézzük meg, hogyan számítható az éltartam szélsőértékének helye a leggyakoribb optimumesélyes korlátokon, előtolás korláton a z_j=0 így a

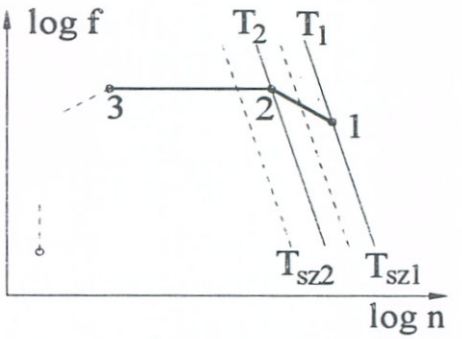
$$T_{szf} = C_K \left(\frac{z_T x_j - x_j}{x_j} \right) = C_K (z_T - 1)$$

A fordulatszám korláton a y_j=0 így a

$$T_{szn} = C_K \left(\frac{-z_j x_T + z_j}{-z_j} \right) = C_K (x_T - 1)$$

Az optimálás algoritmusa ennek alapján a következő:

Az optimumesélyes szakaszokon (11.9.ábra) az 1. pontból kiindulva sorban meghatározzuk a szakaszok határ-pontjait az óramutatóval ellenkező irányban haladva. Azért ezt az irányt választjuk, mert nagyobb a valószínűsége, hogy az első néhány szakaszon van optimális pont.



11.9. ábra: Az optimálási algoritmus szemléltetése

Minden egyes szakaszra csakis a következő esetek lehetségesek:

- A célfüggvény értéke a szakasz pontjai közül valamelyik végpontban a legkisebb, vagy
- a szakasz valamelyik pontjában a célfüggvény lokális szélsőértékét éri el. Ez utóbbi esetben - az 1. és 2. tételek szerint - ez a pont egyben globális szélsőérték pont is.

Az optimális pontot a következő eljárással határozhatjuk meg:

a) Kiszámítjuk az 1. ponthoz tartozó T_1 éltartamot

b) Meghatározzuk az (1-2) szakaszhoz tartozó T_{sz1} éltartamot.

c) Ha $T_1 \geq T_{sz1}$
akkor az 1. pont optimális. Ez nyilvánvaló, hiszen ekkor a célfüggvény értéke az (1-2) szakaszon az 1. pontban a legkisebb, a 2. pont felé haladva monoton jelleggel növekszik. A 2. tétel értelmében az optimumra esélyes határvonalon a 2. 3. stb. pontok felé haladva a célfüggvény értékének csökkenése már nem várható, ezért a további vizsgálódás felesleges. Az optimális technológiai adatok az 1. ponthoz tartozó v_1 és f_1 értékek lesznek.

d) Ha $T_1 < T_{sz1}$ akkor kiszámítandó a 2. ponthoz tartozó T_2 is.

e) Ha $T_2 > T_{sz1}$ akkor az (1-2) szakaszon lokális szélsőérték pont van.
Az optimális ponthoz tartozó f_{opt} előtolás és v_{opt} forgácsolási sebesség értékek a

$$T = \frac{C_T}{v^{z_T} \cdot f^{x_T} a^{y_T}}$$ és az

$$f^{x_j} n^{z_j} = A_j$$

összefüggésekből számíthatók.

f) Ha $T_2 < T_{sz1}$, akkor az optimális pont nem az első szakaszon van és a 2 ponttól kezdődően a (2-3) szakaszon megismételendők az (1-2) szakaszra elvégzett vizsgálatok. Ennek első lépése a T_2 és T_{sz2} éltartamok összehasonlítása. Ha $T_2 \geq T_{sz2}$ akkor a 2 pont optimális stb.

g) Ez az eljárás addig folytatandó, ameddig meg nem találjuk az optimális pontot.Előfordulhat az is, hogy az eljárás során olyan szakaszig jutunk el, amelyhez tartozó optimális éltartam negatív. Ebben az esetben az előző szakasz második határpontja az optimális pont.

11.2.5. Az optimális fogásmélység meghatározása

Az eddigiekben feltételeztük, hogy az "a" fogásmélység adott, s csak az előtolás és fordulatszám optimális értékét kell meghatározni. Általános esetben ez nem igaz, hiszen a ráhagyás nagyobb is lehet a legnagyobb megengedhető fogásmélységnél, de ellenkező esetben sem nyilvánvaló, hogy egy fogással érjük el az optimumot. Kimondhatjuk tehát, hogy a fogásmélységet is ismeretlen tényezőként kell kezelni.

Modellünk ekkor háromdimenzióssá válik. A probléma az a_1, a_2, a_3....a_n fogásmélységek, valamint a hozzájuk tartozó f_1, n_1, f_2, n_2.....f_k, n_k előtolások és fordulatszámok olyan értékének meghatározása, amelyek mellett a

$$K = K_1 + K_2 + ... K_k$$

költség (vagy idő) minimális. Ennek során nem csak a fogásmélységet, hanem a fogások k számát sem ismerjük előre. Nyilvánvaló és lényeges korlátozás, hogy - mint említettük- a fogásmélység összegének a megadott R ráhagyást kell kiadniuk, azaz

$$a_1 + a_2 + ... a_k = R$$

A költség (vagy idő) számításakor figyelembe kell venni a visszafutások költségeit (idejét), valamint a fogásvétellel kapcsolatos egyéb járulékos veszteségeket is.

Többfogásos megmunkálás esetében a költségösszefüggést egy-egy fogásra a következő alakban írhatjuk fel:

$$K = \frac{LC_M}{fn}\left(1+\frac{C_K}{T}\right)+\frac{l_{vf}C_M}{f_{vf}}+C_M t_{ve}$$

ahol

L	a megmunkált hossz, mm,
l_{vf}	a visszafutási hossz, mm,
f_{vf}	a visszafutás sebessége, mm/min,
t_{ve}	járulékos fogásonkénti veszteségidő min.

A fogásosztás optimálására kidolgozott módszerek közös vonása, hogy a feladatot kétdimenziósra redukálják, azaz különböző megfontolások alapján előre megtervezik a ráhagyás leválasztását több változatban, minden változat mindegyik - immár ismert - fogásmélységére a már ismertetett módszerrel rendre kiszámítják az optimális f és n értékeket, majd a leválasztási tervek közül azt a változatot fogadják el optimálisnak, amely mellett a célfüggvény összegzett értéke minimálisra adódik.

A lehetséges megoldások közül az egyik legismertebb és legegyszerűbb a TAUPROG rendszerben alkalmazott eljárás. Így mi is ezt ismertetjük.

A rendszerben a ráhagyást különböző számú egyenlő fogásokra osztják el. A legkisebb fogásszámot a ráhagyás és a maximálisan megengedett fogásmélység felfelé kerekített hányadosa adja meg. Az így kapott fogásmélység mellett meghatározzák a célfüggvény optimális értékét, majd a fogások számát eggyel növelik, s az új fogásmélységgel újból elvégzik az optimálást. Az eljárást addig ismétlik, míg a fogásszám újabb növelésekor a célfüggvény értékének növekedését nem észlelik. Az utolsó előtti optimáláskor kapott fogásmélységet tekintik optimálisnak.

Ez a módszer jól alkalmazható akkor is, ha a ráhagyást nem egyenlő fogásokra, hanem meghatározott mérnöki - heurisztikus szabályok szerint osztják fel. Ilyen szabály lehet pl., hogy az első fogást az esetleges kéreg és a méretszóródás miatt külön kezelik, az utolsó fogást kisebbre veszik, stb.

11.2.6. Példa az optimális forgácsolási adatok meghatározására

A technológiai adatok optimálásához szükséges matematikai modellek szigorúan ellenőrzött alapadatait korszerű technológiai információs rendszerek kell, hogy szolgáltassák.

A modellek paramétereinek ismeretében azonban az optimális forgácsolási adatok igen egyszerű módon határozhatók meg.

Ezt mutatjuk be a következő példán.

Példa: Vizsgáljunk meg egy d=250 mm átmérőn végzett hosszesztergálási műveletet

a=2 mm fogásmélységgel. A szerszámgépről levehető teljesítmény P=11 kW, az erőkorlát F_{meg}=6000N.

A matematikai modell adatai:

y_F=1,0 x_F=0,75; z_F=-0,150; C_F=1330 (a v[m/min], az F[N]);

y_v=0,18; x_v=0,35; C_v=445,6; m=0,20; C_T=6,5

A feltételrendszer egyenlőtlenségei:

1. $f \leq 10,0$;
2. $f \geq 0,01$;
3. $n \leq 1400$;
4. $n \geq 63$;
5. $f \leq 0,35$;
6. $fa^{-0,6} \leq 0,287$;
7. $fa^{-0,6} \geq 0,096$
8. $f^{0,75}n^{-0,15}ad^{-0,15} \leq 1,9$ (erőkorlát);
9. $f^{0,75}n^{0,85}d^{0,85}a \leq 45372,2$ (teljesítménykorlát).

Az átmérőt és a fogásmélységeket behelyettesítve a 6., 7., 8. és 9. összefüggések a következőket adják:

a=2 mm esetén

6. $f \leq 0,435$;
7. $f \geq 0,146$;
8. $f^{0,75}n^{-0,15} \leq 2,1749$;
9. $f^{0,75}n^{0,85} \leq 207,748$

Ezek a korlátok határozzák meg a feltételrendszert (11.10.ábra)

A koordináta tengelyekkel párhuzamos korlátozások ábrázolása rendkívül egyszerű. Néhány korlátozás a 15.21. ábra területén nem tüntethető fel, ezek tekintetbe vétele természetesen felesleges. Az erőkorlátok a

$$\log f = 0,2 \log n + \frac{1}{0,75} \log 2,1759, \text{ valamint a}$$

$$\log f = 0,2 \log n + \frac{1}{0,75} \log 0,86996$$

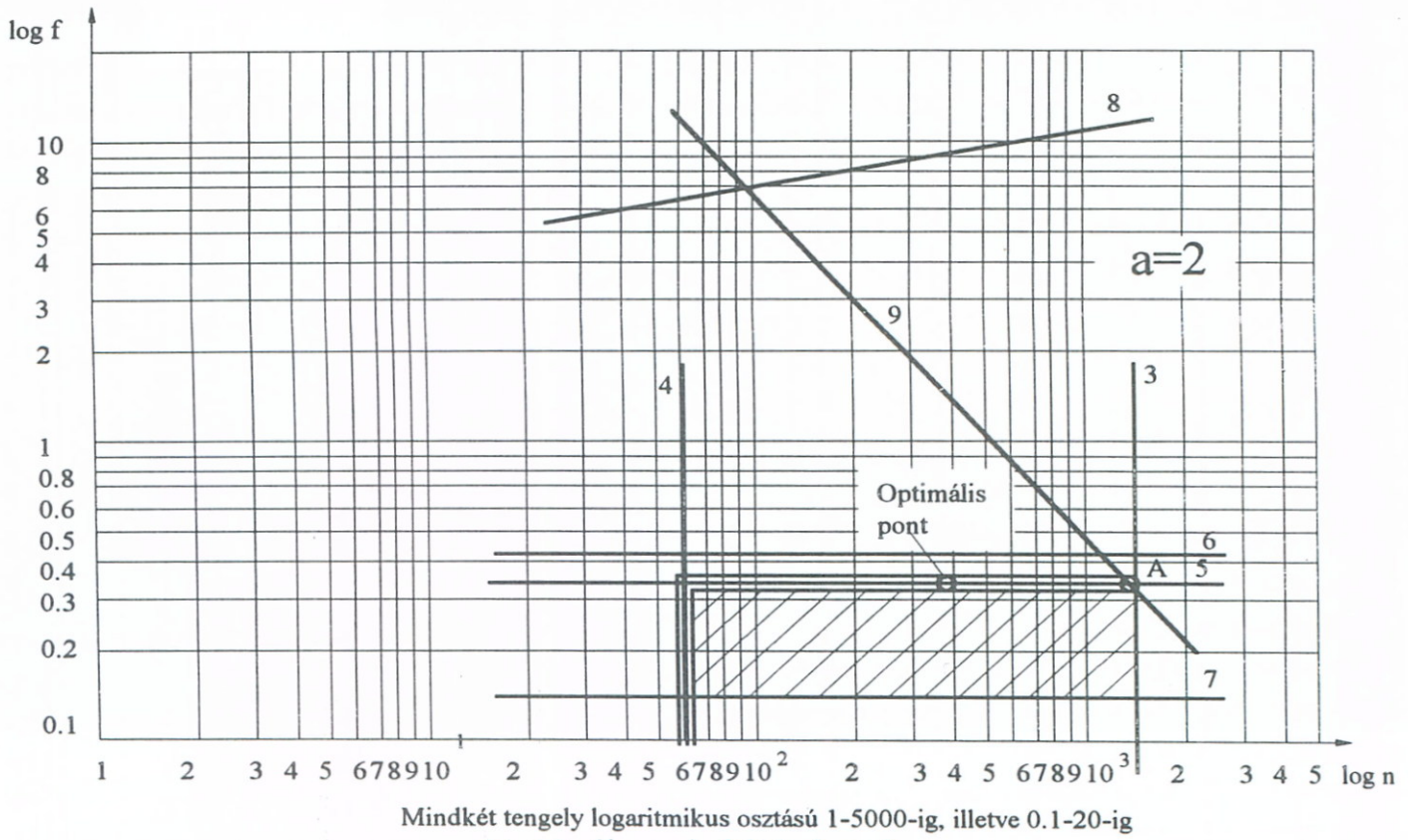
összefüggés, a teljesítménykorlátok a

$$\log f = -1,133 \log n + \frac{1}{0,75} \log 207,748,$$

valamint a

$$\log f = -1,133 \log n + \frac{1}{0,75} \log 83,099$$

összefüggések alapján könnyen ábrázolhatók.



Mindkét tengely logaritmikus osztású 1-5000-ig, illetve 0.1-20-ig

11.10. ábra: A feltételrendszer

A 15.21. ábrán az optimum-esélyes határ dupla vonallal van kihúzva. Az első vizsgálandó pontot az 5 előtoláskorlát és a 9 teljesítménykorlát jelöli (A pont).

Itt: f=0,35 mm/ford; n=1300 ford/min.

Az éltartam ebben a pontban

$$T_A = \left(\frac{445,6}{\frac{\pi \cdot 250}{1000} 1300 \cdot 0,35^{0,35} 2^{0,18}} \right)^5 = 0,0533 \text{min}$$

lesz. Mivel az 5 egyeneshez tartozó optimális éltartam

$$T_{opt} = \frac{1-m}{m} C_T = 4C_T = 26 \text{min},$$

az A pont nem optimális.

A T_{opt} értékhez tartozó fordulatszám a Taylor-összefüggésből számítható:

$$n = \frac{C_v}{T_{opt}^m \frac{\pi d}{1000} s^{xv} a^{yv}} = \frac{445,6 \cdot 1000}{26^{0,2} \pi \cdot 250 \cdot 0,35^{0,35} \cdot 2^{0,18}} = 376,92 \text{ [ford/min]}.$$

Mivel ez a fordulatszám a megengedett tartományhoz tartozik, az optimális technológiai adatok f=0,35 mm/ford, n=377 ford/min értékre adódnak.

11.3. Strukturális optimálás

A technológiai tervezés során gyakori feladat az egyes tevékenységek sorrendjének meghatározása. Mint látni fogjuk ez jelentősen befolyásolja a gyártási költségeket. Állításunk igazolására példaként a műveleti sorrend meghatározásának technológiai modelljét mutatjuk be.

Az alkatrészgyártás teljes technológiai folyamattervezésnek legmagasabb szintje a műveleti sorrendtervezés. Feladata a megmunkálási módok meghatározása, a megmunkálási bázisok kijelölése, a szerszámgépek és készülékek kiválasztása, a műveletek behatárolása, a műveletek sorrendjének meghatározása valamint a műveletek közötti közbenső állapotok rögzítése. A szint végterméke a több változatban előállított műveleti sorrendterv, amely tartalmazza az alkatrész műveleteit, azok sorrendjét, a műveletek tartalmi jellemzőit és a munkadarab befogására vonatkozó adatokat.

Adott gyártórendszer esetén a helyes műveleti sorrend, az optimális szerszámgép és eljárás megválasztása jelentősen csökkentheti a gépi főidőt és a költségeket. Így célszerű megvizsgálni lehetséges-e a tervezés során az optimális megoldás meghatározása.

Az alkatrészek felületelemcsoportjainak megmunkálását elemezve megállapítható, hogy a megmunkálás során fokozatosan egyre finomabb minőségi paraméterekkel jellemezhető állapotokon mennek keresztül, míg a nyers állapotból a kész állapotba kerülnek. Az állapotváltozások sorozata egy felületelemcsoport típusra mind tartalmát, mind sorrendjét illetően meghatározott.

Vezessük be a **megmunkálási mód** fogalmát, mint az állapotváltozásokat létrehozó részfolyamatok modelljét. A megmunkálási mód értelmezése a technológiai modellünk egyik kulcskérdése. Célszerű ugyanis úgy értelmezni, hogy támpontot nyújtson a később megoldandó szerszámgépválasztáshoz is. A megmunkálási mód hagyományos értelmezése csak közvetlenül a forgácsolásra orientálódik. Ha ezt megőrizzük, akkor a megmunkálási módokhoz rendelhető, szerszámgépek halmaza indokolatlanul nagy lesz, hiszen pl. egy 8 mm átmérőjű furat elkészíthető asztali fúrógépen és megmunkáló köz-ponton is. Ha a megmunkálási mód értelmezését kibővítjük a peremfeltételekkel is, (pl. az alkatrész típusa, jellemző méretei, tömege, stb) a számba vehető szerszámgépek választéka radikálisan leszűkül, és csak az adott esetnek megfelelő megoldásokat tartalmazza.

A megmunkálási módok oldaláról vizsgálva a **felületelemcsoportok** állapotváltozási folyamatát, a következők állapíthatók meg :

- egy megmunkálási móddal általában a felületelemcsoport több egymásutáni állapota is létrehozható;
- egy megmunkálási móddal többféle felületelemcsoport bizonyos állapotát vagy állapotait lehet létrehozni;
- a felületelemcsoport egy adott állapota különböző megmunkálási módokkal is létrehozható;
- ahhoz, hogy a felületelemcsoportot a nyers állapotából a kész állapotába hozzuk, általában több megmunkálási mód egymásutáni alkalmazása szükséges.

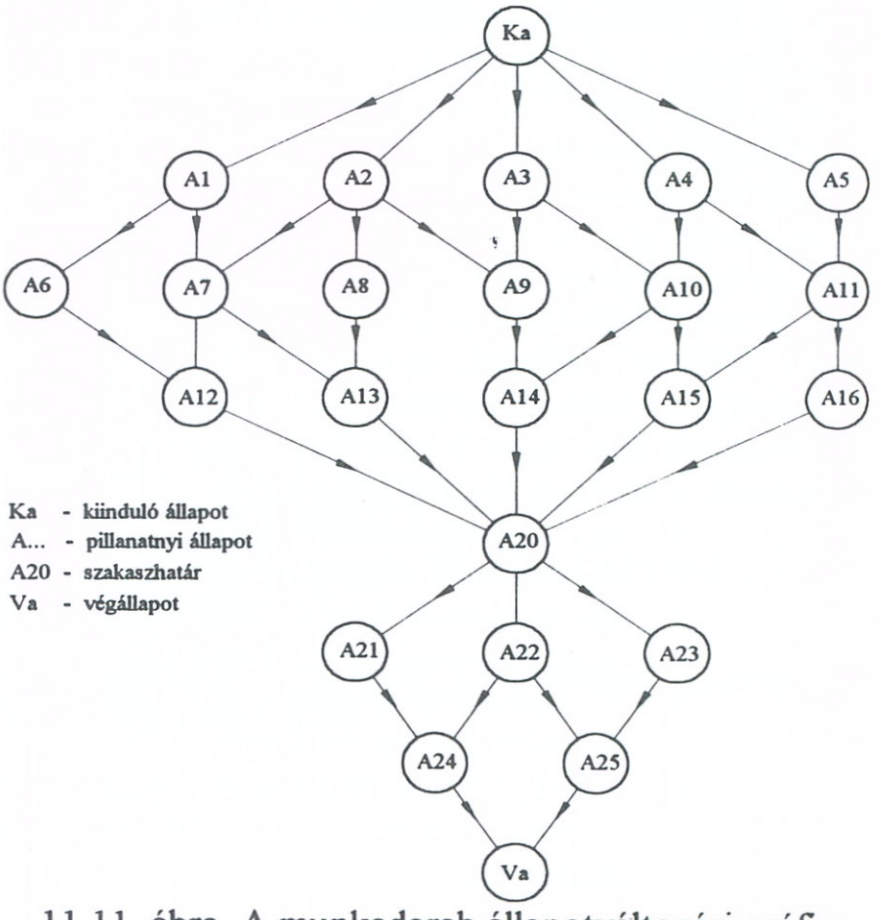
A megmunkálási módok szerszámgépeken valósulnak meg., A szerszámgépek szemszögéből nézve:

- egy adott megmunkálási mód különböző szerszámgépeken is megvalósítható;
- egy szerszámgépen, általában több megmunkálási mód valósítható meg;
- adott megmunkálási mód különböző szerszámgépeken eltérő költséggel valósítható meg.

A sorrendtervezés szempontjából sajnos a feladat nem egyszerűsíthető le ilyen mértékig. A műveleti sorrend kialakításánál még két lényeges szempontot figyelembe kell vennünk.

Egyrészt léteznek olyan - a gyártási körülményekből fakadó - technológiai követelmények, melyek megkövetelik, hogy az alkatrészek megmunkálásának folyamatát nagyobb szakaszokra tagoljuk. Ilyen pl., hogy a nagy ráhagyásokat el kell távolítani, mielőtt valamely felületet készre munkálnánk, hogy a belső feszültségek és a forgácsoló erő okozta deformációkat ki tudjuk korrigálni a készremunkálás során. Ezért a teljes alkatrész megmunkálását nagyoló, simító stb. szakaszokra bontják. A nem forgácsolási műveletek (hőkezelés, hegesztés, felületkezelés) beiktatása is a megmunkálási folyamat szakaszolását eredményezi. A tervezés szempontjából további szakaszolást jelent, hogy csak az azonos bázisfelületről történő megmunkálások kerülhetnek egy műveletbe. A gyártási folyamat szükségszerű szakaszolásának következménye, hogy az egyes felületelemcsoportok teljes megmunkálása, amelyet mi az állapotváltozásaik elemzése során összefüggő folyamatként kezeltünk, valójában általános esetben nem lesz összefüggő. A felületelemcsoportok állapotváltozásaihoz rendelt megmunkálásokat be kell sorolnunk a megfelelő szakaszokba. Így az egyes szakaszokban az alkatrész felületelemcsoportjainak megmunkálási részfolyamatai új elrendezésben kerülnek egymás mellé.

Másrészt az egyes szakaszokon belül a megmunkálások sorrendjében a sok kötöttség mellett - amelyek a felületelemek egymásra épüléséből (hierarchiájából), csatlakozásából stb. származnak - számos kötetlenség is van, azaz az egyes részmegmunkálások sorrend-je variálható. A kötelező precendencia



11.11. ábra. A munkadarab állapotváltozási gráfja

(előzési)feltételek betartása után a sorrend opti-málása éppen az ilyen invariancia esetek feldolgozása révén válik lehetségessé.

Az alkatrész lehetséges állapotváltozási folyamatát egy olyan gráf szemlélteti legjobban (11.11.ábra), ahol a csúcsok az alkatrész állapotainak, az élek az állapotváltozásoknak és a csomópontok (speciális csúcsok) a szakaszhatároknak felelnek meg.

Az alkatrész állapotváltozási folyamatát vizsgálva a következők állapíthatók meg. Az alkatrész állapotváltozását általában egy-egy felületelemcsoport állapotainak megváltozása jelenti. Adott felületelemcsoport megmunkálása sok esetben más felületelemcsoportok megmunkálására közvetlenül nincs hatással, ezért megmunkálásuk sorrendje a már említett kötöttségek ellenére sokféle lehet. Így az alkatrész nyers és kész állapota között számos állapot valósulhat meg. Természetesen konkrét esetben az alkatrész lehetséges állapotai közül csak néhány jön létre vagyis az alkatrész állapotainak többsége lehetséges és nem szükséges állapota az állapotváltozási folyamatnak. Az alkatrésznek vannak azonban kitüntetett állapotai is. A szakaszhatárok az alkatrész állapotváltozási folyamatának szükségszerűen megvalósítandó állapotai.

Bármely tervezési módszert alkalmazva, szakaszokba sorolva az alkatrész felületelemcsoportjainak állapotváltozásait, meghatározva azok előzési feltételeit, valamint az azokat megvalósító megmunkálási módszerszámgép párokat, eljutunk a gyártási folyamat azon modelljéhez, amely lehetővé teszi az optimálást. Az optimálási feladatot elegendő, ha az egyes szakaszokra külön-külön oldjuk meg.

A szakaszon belül a tevékenységek sorrendje olyan primér sorrend, amely megvalósítható, de magában rejti az összes lehetséges sorrendet is. A lehetséges sorrendek megadása az előzési feltételek előírásaival történik.

Az alkatrészgyártási folyamatnak egy-egy adott technológiai lehetőséggel jellemzett környezetben nagyon sok műszakilag azonos, gazdasági tekintetben viszont különböző értékű változata tervezhető meg. E variánsok különböznek egymástól az alkalmazott eljárásokban, azok sorrendjében, a kiválasztott szerszámgépekben és a folyamat szakaszolásában.

Feladatunk e variánsok közül a gazdasági célnak legjobban eleget tevő kiválasztása, vagyis a gyártás adott szakaszához a gyártórendszer várható állapotának figyelembevételével, a szerszámgépek és megmunkálási módok olyan sorozatát kell kiválasztani a lehetséges megoldások közül, amely a minimális gyártási költséget eredményezi. Ehhez azonban ismernünk kell az egyes megmunkálási módok gyártási költségeit a különböző gépeken, valamint a szerszámgépváltásból adódó költséget, amely a készülékezési, a ki- és befogási, a szállítási és a raktározási költségekből tevődik össze.

A műveleti sorrend meghatározása egy bonyolult optimálási feladat megoldását jelenti.

E feladat megoldására általában az operációkutatásból jól ismert matematikai modelleket és azok megoldási módszereit használjuk fel. Igy gyakran vezetik vissza a feladatot az utazó-ügynök feladatra és alkalmazzák a különböző heurisztikus algoritmusokat.

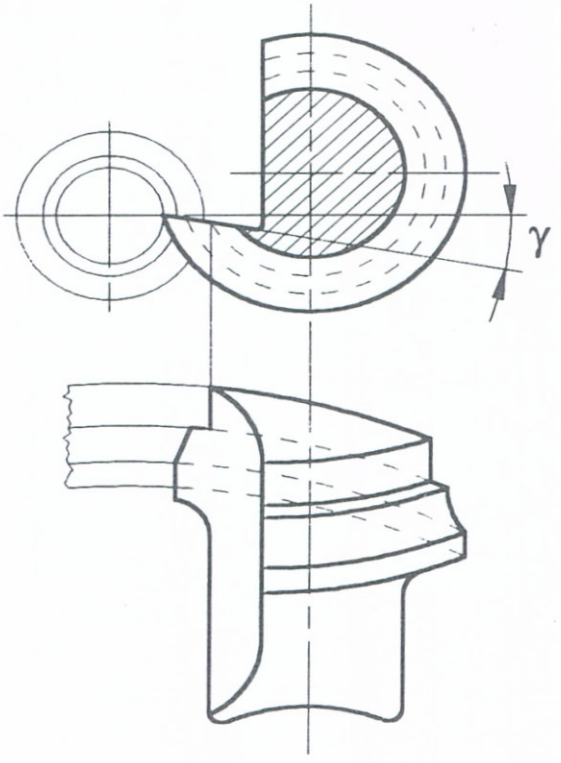
11.12. ábra. Csavarhornyú süllyesztő

11.4. A megmunkálási idő analizise

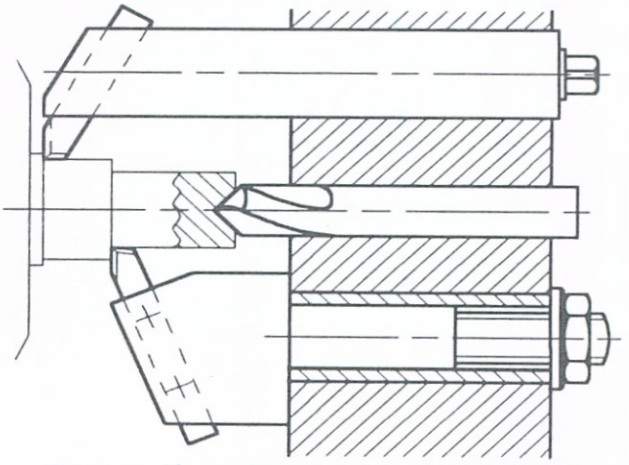
Az előző fejezetekben látthattuk, hogy a megmunkálási sorrend és a forgácsolási paraméterek hogyan befolyásolják a gyártási költségeket. Érzékelhettük, hogy a gyártási költségek és a normaidő között szoros kapcsalat van. A következőkben vizsgáljuk meg a normaidő egyes elemei hogyan csökkenthetők, és ez hogyan befolyásolja a gyártási költségeket.

11.4.1. A gépi főidő csökkentése

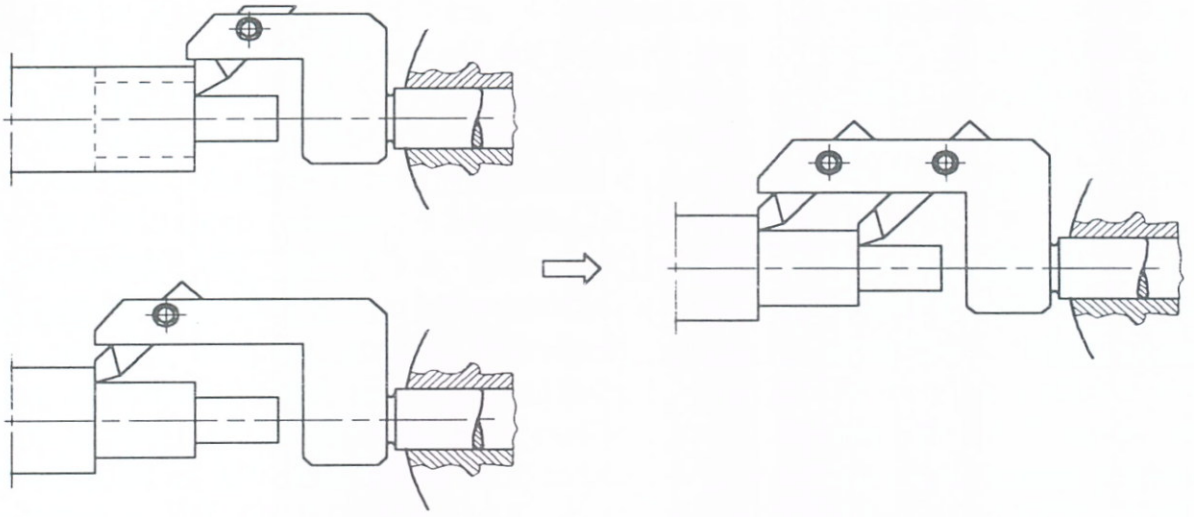
A gépi főidő az előtolás és a forgácsolási sebesség függvénye. A gépi főidő csökkentésének számos útja létezik. Csökkenthető a főidő jobb minőségű szerszám alkalmazásával, kedvezőbb hűtési, kenési feltételek biztosításával, technológiai adatok növelésével. Relatív főidőcsökkentés érhető el a műveletelemek összevonásával (programszerszámok 11.12.ábra és 11.13.ábrák, többkéses szerszámtartók, 11.14.ábra és 11.15. ábrák) műveletelemek átlapolásával (többorsós megmunkálások 11.16.ábra, többszános megmunkálások 11.17.ábra). Ezek a megoldások azonban mindig a ráfordítások növeke-désével járnak. Meg kell tehát vizsgálnunk, hogy a bevezetésükből származó főidőcsök-kenés - annak költségcsökkentő hatása - hogyan viszonyul a ráfordítások növekedéséhez.



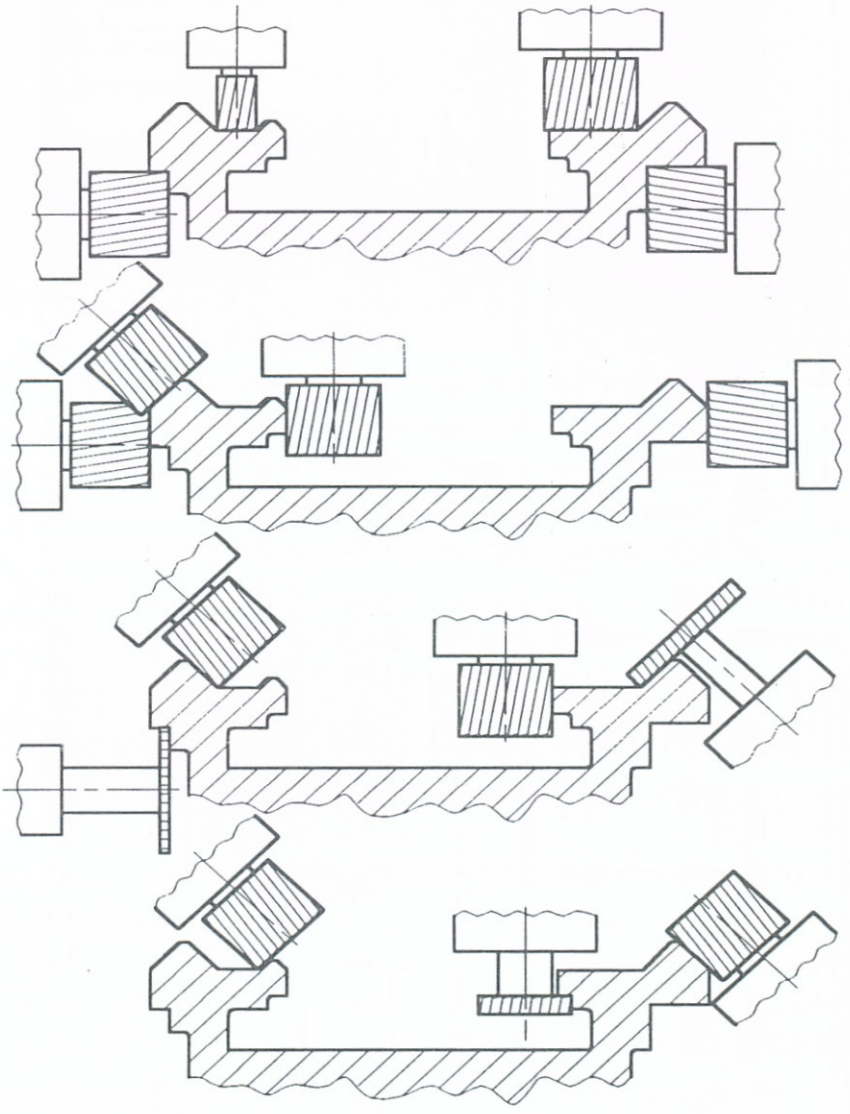
11.13. ábra. Alakos körkés



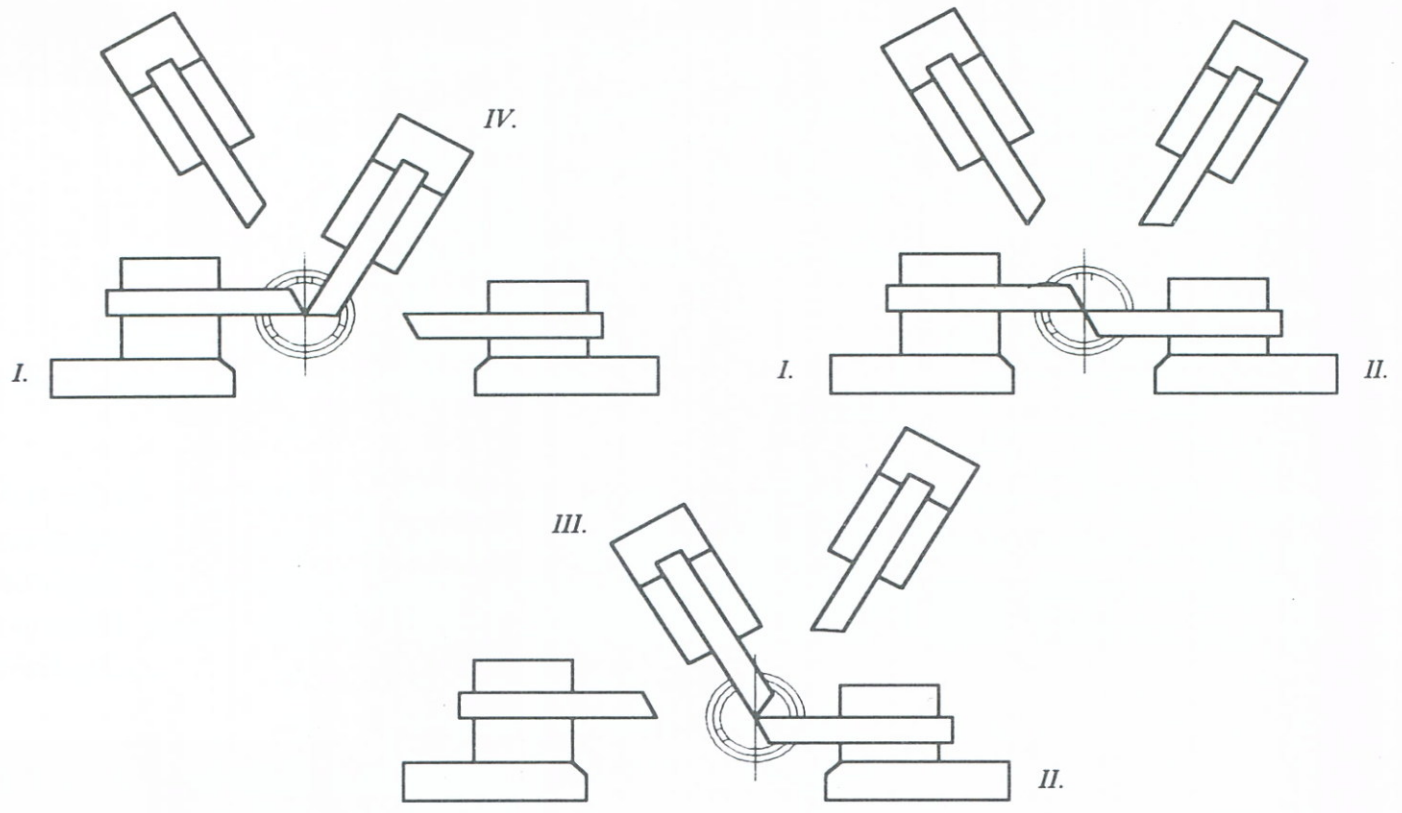
11.14. ábra. Fúrási és esztergálási műveletelemek összevonása



11.15. ábra. Esztergálási műveletelemek összevonása



11.16. ábra. Szerszámgépágy megmunkálása többorsós szerszámgépen



11.17.ábra Együtt dolgozásra javasolt keresztszánok revolverautomata esztergán

11.4.2. A mellékidők csökkentése

A mellékidők csökkentésére elsősorban az automatizálás volt nagy hatással. Gondoljunk csak a sokféle munkadarab-adagolásra, robotra, melyek mind a mellékidők csökkentésére hivatottak. Szédületes volt a fejlődés a szerszámgépek gyorsmozgásainak terén. Ma már szinte mindennapos a 30-50 m/min sebességű gyorsmozgás. Jelentős időmegtakarítást jelent az automatikus szerszámcserélés, valamint a szerszámok automatikus, gépen történő bemérése. Csökkenthetik a mellékidőket a palettacserélők és az automatizált ún. gyorsbefogó készülékek. Ezek a megoldások azonban mindig jelentősen növelik a ráfordításokat, így csak gazdaságossági számításokkal mutatható ki bevezetésük jogossága.

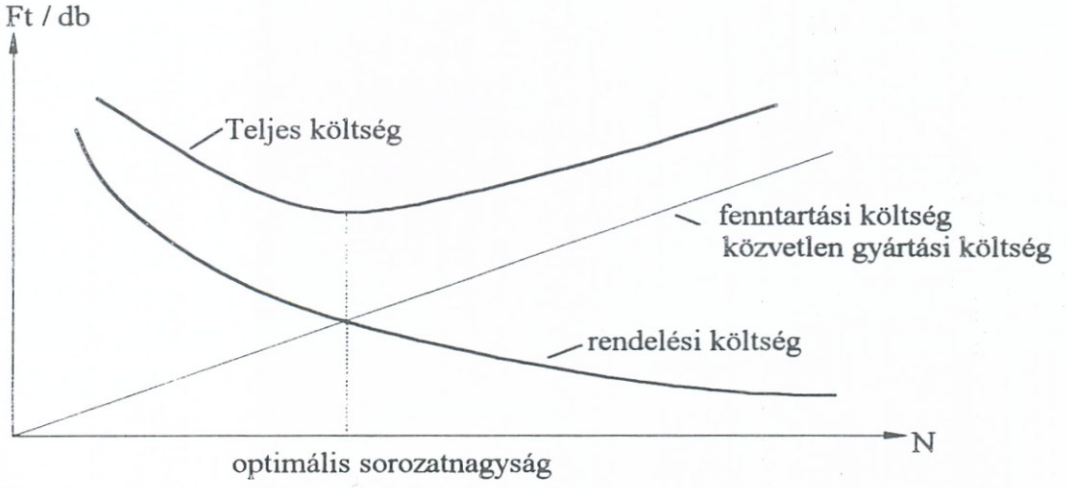
11.4.3. Az előkészületi és befejezési idő csökkentése.

A gyártással kapcsolatban felmerülő költségek egy része a rendelési tételek nagyságától függ (raktározási költség, készletek kamatai, stb). Ezért, ha ezeket csökkenteni akarjuk akkor kisebb tételeket kell rendelni és sűrűbben.

A többszöri rendelésnek is megvannak azonban a költségei. A termelésben minden rendelés kezdetén és befejezésekor jelentős időkiesés jelentkezik (előkészületi és befejezési idő), mely természetesen költségnövelő. Az időkiesés a szerszámok és a gép átállításából, a készülékek átszereléséből, stb. adódik.

Kialakul tehát az örökös konfliktus. A gyártó a sorozat nagyságának növelésében, a járulékos költségekért felelős gazdasági vezető pedig annak csökkentésében látja a költségek minimalizálásának lehetőségét. A konfliktus megoldása: egy kompromisszum. Meg kell keresnünk azt a sorozat nagyságot, amely nem olyan nagy, hogy túl magas készletfenntartási költségeket eredményezzen és nem olyan kicsi, hogy jelentősen növelje az egyes darabokra eső rendelési költséget.(11.18. ábra)

Az előkészületi és befejezési idő csökkentése két szempontból is nagyon megszívlelendő. Egyrészt a készletfenntartási költségek csökkentésének más lehetséges útja nem ismert, míg az átállási költségek sokszor ügyességgel, leleményességgel, pótlólagos automatizálással stb. csökkenthetők. Másrészt a szériák csökkentésének a minőségre a selejt csökkentésére, a termelékenységre hatása van. A " japán termelési mód " alapkövét az előkészületi és befejezési idő minimumra csökkentése jelentette. Ez tette lehetővé a JIT (JUST IN TIME) és a TQC (TOTAL QUALITY CONTROL) termelési filozófiák bevezetését. A jegyzet keretei nem teszik lehetővé, hogy a szérianagyság csökkentésének minden hatását részletesen megvizsgáljuk, de talán elég szemléletes az a hatáslánc amely a JIT és TQC bevezetésének következményeit mutatja be (11.19. ábra)



11.18. ábra. Optimális sorozatnagyság

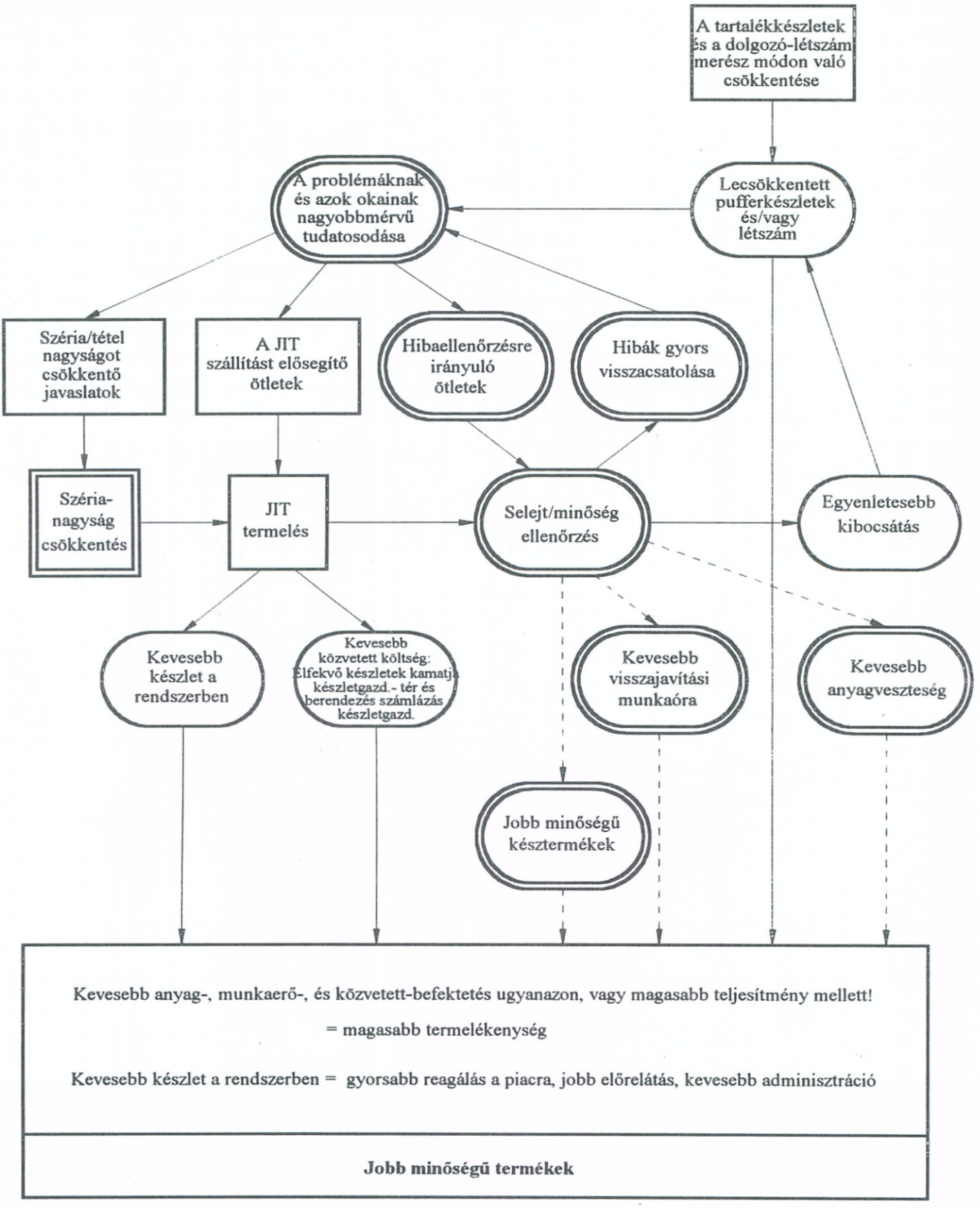
Felhasznált irodalom:

[1] Dr. Kalászi I.: A Gépgyártás technológiája III.Tömeggyártás. Budapest, Tankönyvkiadó, 1967.

[2] Dr. Horváth M. és Dr. Somló J.: A forgácsoló megmunkálások optimálása és adaptív irányítása. Budapest, Műszaki Könyvkiadó, 1979.

[3] Dr. Szegh I. Modellek a technológiai tervezés különböző szintjein. Kandidátusi értekezés. Budapest, 1993.

[4] Dr.Tóth T.: Automatizált műszaki tervezés a Gépgyártástechnológiában. Akadémiai doktori értekezés Miskolc, 1988.



11.19. ábra. Teljes minőségellenőrzés, just-in-time termeléssel ötvözve

12. SZÁMÍTÓGÉPPEL INTEGRÁLT GYÁRTÁS

12.1. Bevezetés

Erdélyi Ferenc [2] meghatározása szerint: a számítógéppel integrált gyártás, a CIM a termeléshez kapcsolódó vállalati funkciók olyan integrált együttese, amelyben a funkciók informatikai folyamatait számítógép támogatja és az alkalmazási modulok informatikai kapcsolatait helyi hálózat egységes adatbázis és üzenetszolgáltatások biztosítják.

A számítógéppel integrált gyártás egyik tipikus alkalmazása a gépiparban jelenik meg. Erre az iparágra elmondható, hogy fejlődésének legáltalánosabb tendenciája a termelés valamennyi területére kiterjedő automatizálás, a CIM elvek érvényesülése.

Hangsúlyozni kell, hogy az automatizált, rugalmas gyártórendszerek az anyagi és az információs folyamatokat egyidejűleg integrálják. Vagyis, ezek megvalósítják az anyagok és az adatok integrált feldolgozását. Ezt fejezi ki a hazánkban született és Hajós Györgytől származó meghatározás, amely szerint a CIM rendszereket integrált anyag és adat feldolgozó rendszereknek (IAAR) nevezhetjük. [5].

Csúcstechnológiával kapcsolatban elterjedten alkalmazzák a CAD/CAM, FMS, DNC, CAQ, CAST, CAPP, PPS, LAN, MMS, MAP, TOP, stb. angol rövidítéseket. A jelen bevezetőben ezeket nem magyarázzuk. Ennek az az oka, hogy a fejezet egyes pontjaiban részletesen foglalkozunk a rövidítésekkel jellemzett témakörök egy részével, amelyeknek a tartalma ilyen módon ismertté válik. A többi fogalmat az [5] munka alapján a fejezet végén foglaljuk össze.

12.2. Számítógéppel irányított gyártórendszerek szerkezete és folyamataik

A rugalmas gyártórendszerek tipikusan több (néhány, vagy néhányszor tíz) megmunkáló gépből; tároló, raktár (többnyire automatizált) egységekből, esetleg mérőgépből állnak, amelyek között a munkadarab szállítását számítógéppel irányított szállító berendezések látják el. Az egyes egységek anyagkezelési feladatait, például a szállítóberendezésről a gépre, a tárolóról a megmunkáló gép készülékébe táplálást, manipuláló berendezések, robotok látják el.

Az anyag feldolgozását az adatfeldolgozás párhuzamos folyamatai során létrejövő információk irányítják.

Az információfeldolgozás alrendszerei a következők:

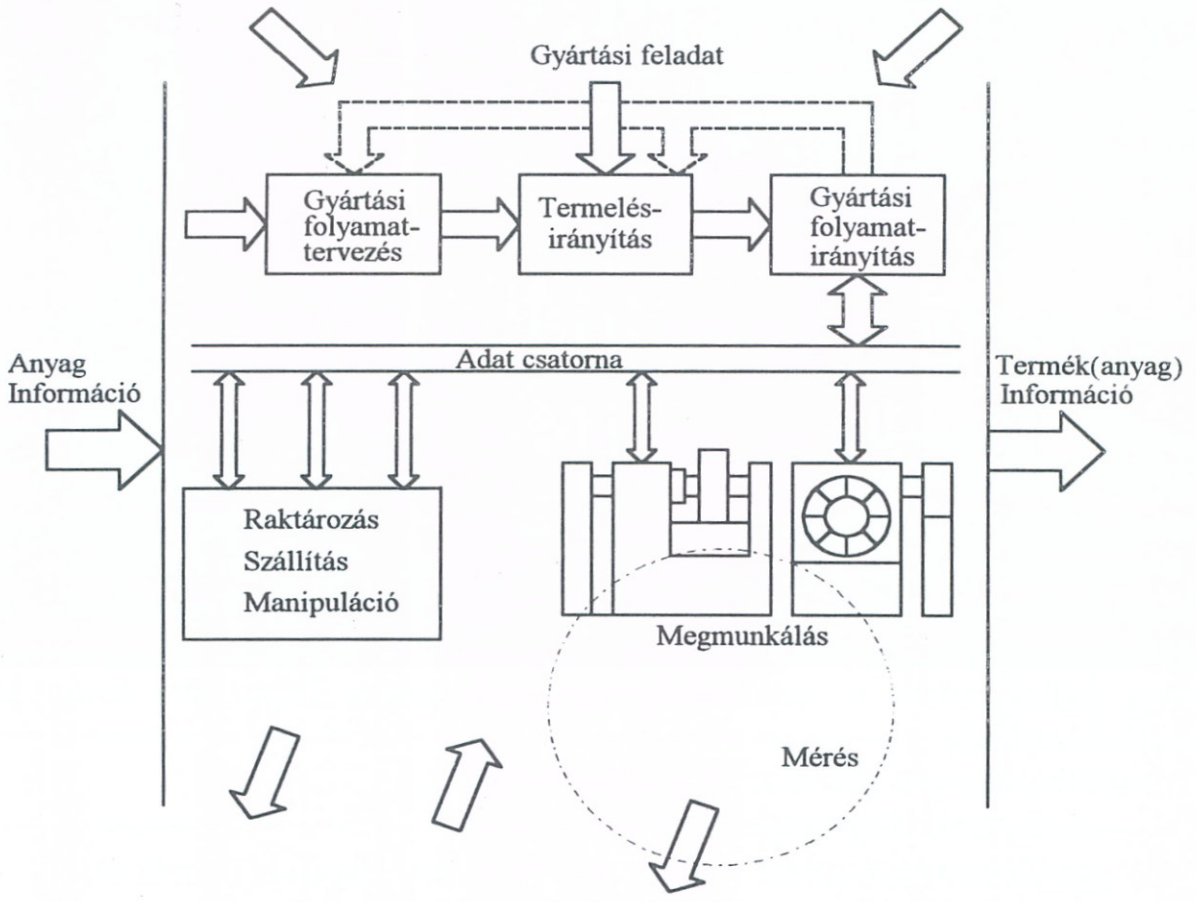
- Gyártási folyamattervezés
- Termelésirányítás
- Gyártási folyamatirányítás

A gyártási folyamattervezés feladatainak megoldásakor meghatározzák, hogy mit, milyen eszközökkel, milyen sorrendben, hogyan állítunk elő. Korábban részletesen tárgyaltuk.

A termelésirányítási alrendszer meghatározza a rendszerben megoldandó feladatok egymásutániságát, időrendjét. Megmondja: mit, mikor kell elvégezni.
A "mikor" itt, jelenthet konkrét időpontot, de jelenthet sorrendiséget is. Ez utóbbi azt jelenti, hogy a következő feladat akkor végezhető el, ha az előfeltételei fennállnak, vagyis valemennyi előző feladat megoldása már megtörtént.

Rugalmas gyártórendszerekben a termelésirányítás rendszerint az ún. **finomprogramozási feladatok** megoldását jelenti. A finomprogramozás a rendszer feladatainak operatív ütemezése.
A 12.1. ábra szemlélteti az ún. rugalmas gyártórendszerek (angol rövidítéssel FMS (Flexible Manufacturing System) szerkezetét.

A vállalati termelésirányítás hierarchikus rendszerében megkülönböztetik a következő hierarchikus tervezési szinteket: hosszútávú (termelés tervezés), középtávú (termelés ütemezés) és rövidtávú (termelés programozás).
A finomprogramozás a rövidtávú tervezés része. Ennek során jelölik ki az egyes gyártóegységek által adott időpontokban konkrétan megoldandó feladatokat.
A finomprogramozás a gyártási folyamatirányítás számára egy "listát" ad, amelyben



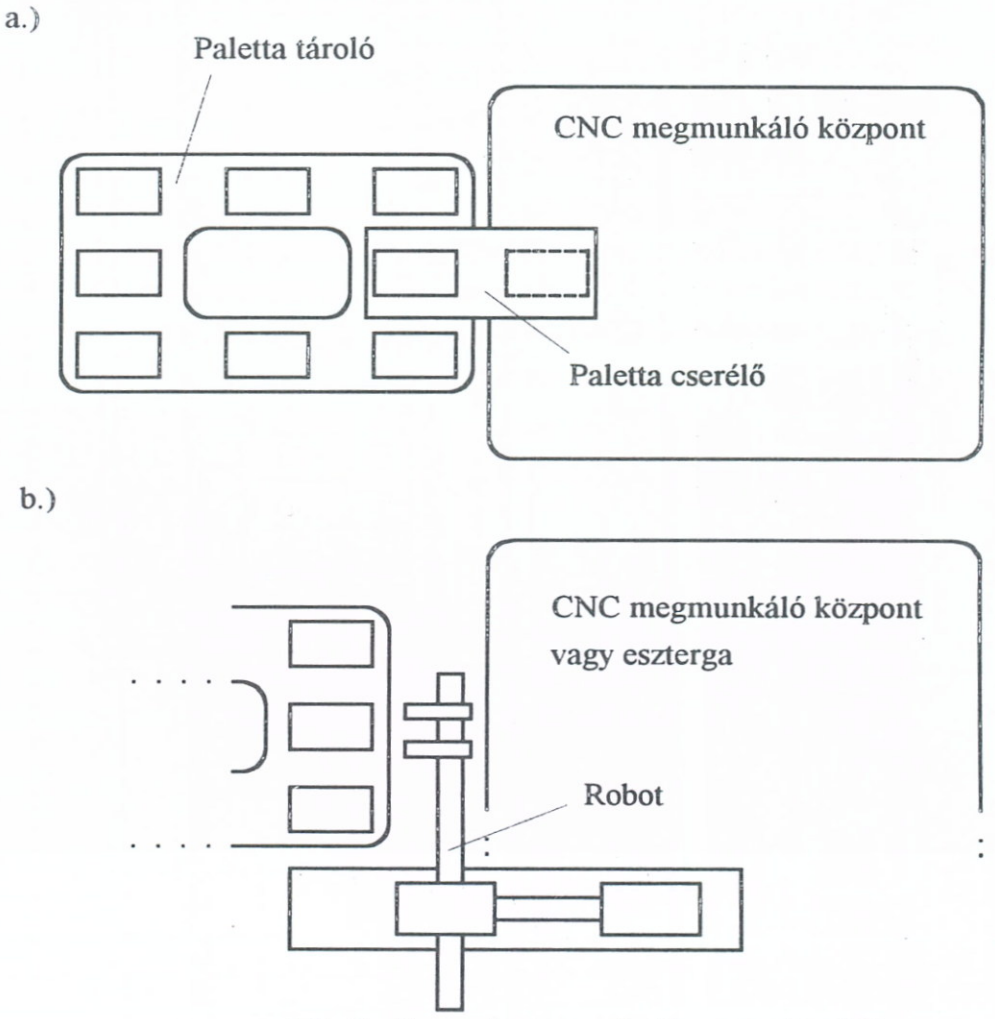
12. 1. ábra: Rugalmas gyártórendszerek szerkezete

egymás után szerepelnek a gyártásban résztvevő egyes egységek feladatai.

A gyártási folyamatirányítás alrendszer megvalósítja a finomprogramozás által aktivizált folyamatterveket. Ez a valósidejű irányító rendszer sorban utasítást ad a gyártásban résztvevő valamennyi egységnek a következő művelet megkezdésére. Az egységek műveleteik elvégzése után ennek befejezését jelzik az irányító berendezéseknek. Az alrendszer általában hierarchikus felépítésű: a gyártórendszer vezérlő a gyártócellák, a cellavezérlők a cellába szervezett berendezések működését hangolják össze. A folyamatokat a berendezések vezérlései irányítják.

Az automatizált gyártócella a magasan automatizált gyártás olyan egysége, amely képes huzamosabb ideig ember közvetlen beavatkozása nélkül gyártani, azonban nem rendelkezik termelésirányítás jellegű feladatok megoldásának lehetőségével.

Az automatizált gyártócella tipikus példája az olyan automatizált anyagtároló és manipuláló berendezéssel felszerelt nagy műveletkoncentrációjú megmunkáló központ, amelyet nagyteljesítményű CNC berendezéssel irányítanak. Ez képes hosszabb ideig, (például a 2. és 3. műszakban), emberi kiszolgálás, felügyelet nélkül megmunkálni a



12. 2. ábra: Automatizált gyártócellák
a,)Palettacserélős munkadarabellátás
b,) Robotos munkadarabellátás

tárolóegységében lévő különböző (vagy azonos) alkatrészeket.
A 12.2. ábra példákat mutat be automatizált gyártócella felépítésére.

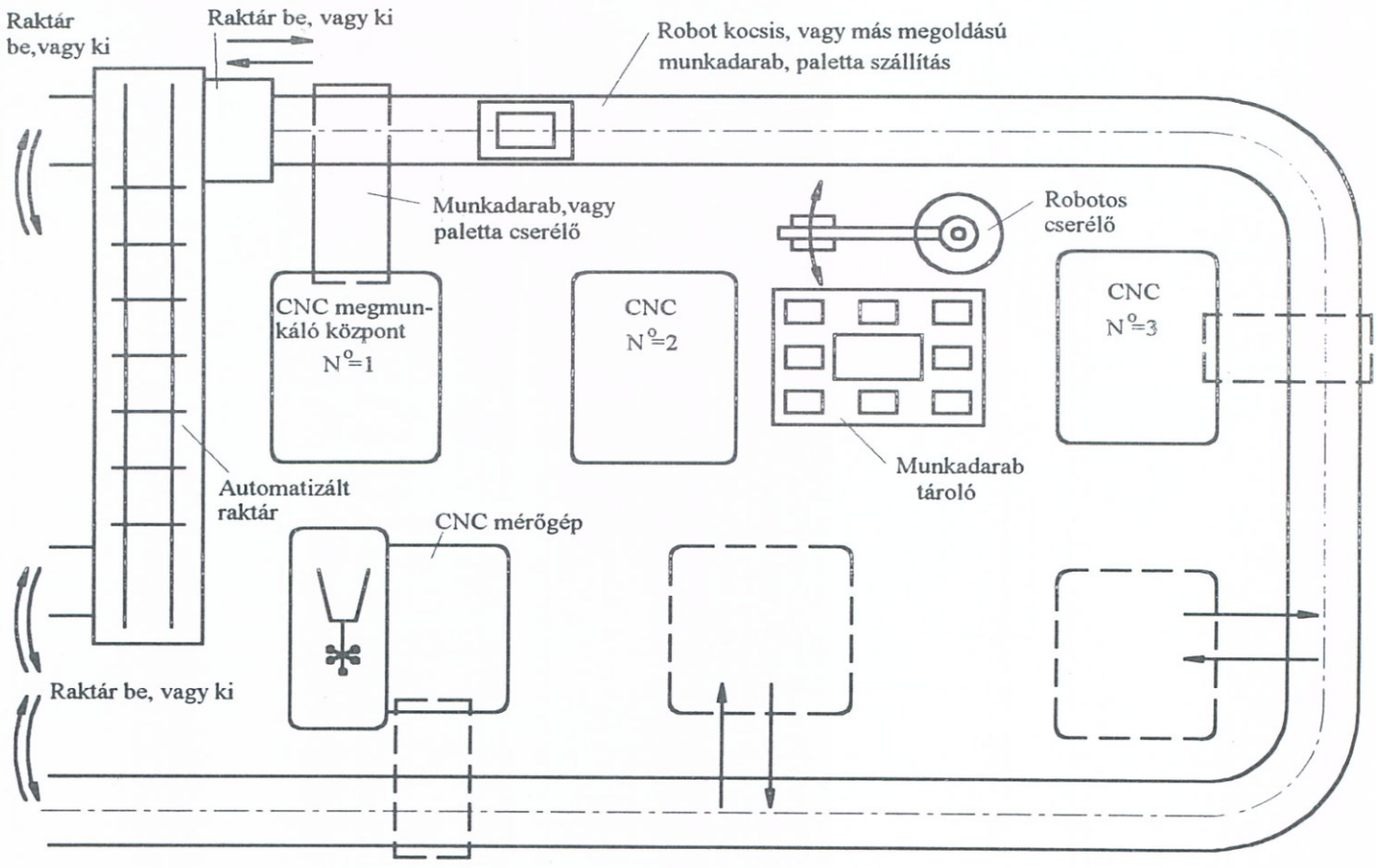
A gyártógépet automatikus munkadarabkezelővel építik össze. Rendszerint a gyártógép részét képezi a nagy kapacitású automatizált szerszámtár és cserélő berendezés.

A munkadarab, vagy a palettára szerelt munkadarab cseréjét speciális cserélő berendezés, vagy robot végzi el.

Az automatizált gyártócella autonom egységeinek irányítását, CNC PLC és robotvezérlő berendezések látják el. Az egységek koordinált működését celllavezérlő oldja meg.

Tipikus cellaműködés az, amikor a tárolót az első műszakban feltöltik munkadarabokkal (azonosakkal, vagy különbözőekkel), amelyeket sorbavéve a rendszer a második és a harmadik műszakban emberi felügyelet nélkül (vagy korlátozott felügyelettel) működik.

A 12.3. ábra rugalmas gyártórendszert mutat be. Ebben szerepelnek különböző műszaki megoldások, amelyeket e rendszerben alkalmaznak.
Az automatizált raktárból a munkadarabokat robotkocsis, vagy más megoldású szállítóberendezés viszi a megmunkáló vagy egyéb gépekhez. Ugyanez a berendezés végzi a gépek közötti szállítás és raktárba visszaszállítás feladatát is. Az egyes egységek közötti mozgatást végezheti egyedi szállító, például robotot alkalmazó egység is.
A szállítási út lehet visszatérő útvonalú, vagy körbehaladó.



12. 3. ábra: Rugalmas gyártórendszer

Modern gyártórendszerekben nagyon gyakori, hogy a gyártórendszerbe gyártócellákat integrálnak. Erre példa az ábrán a robotos kiszolgálású CNC N°2 és N°3 jelű gép.

Vizsgáljuk meg a rendszer működését valamely tetszőleges időpontban.

Tételezzük fel, hogy a raktárban lévő munkadarab megmunkálásának, valamely művelete következik soron.

A rendszerirányító számítógép utasítást ad a raktári manipulátornak, hogy a munkadarabot (az azt hordozó palettát) vigye a kiszállítási pozicióba. Ameddig ez a művelet folyik az irányító számítógép más, párhuzamos folyamatokat kezdeményezhet. Amikor az adott munkadarab (vagy munkadarabok egy palettán) az adott helyzetbe kerül, az irányító számítógép kezdeményezi a szállítási műveletet. Ezután hasonló módon követik egymást a manipulációs (szállítóberendezésről tárolóba, tárolóból a gép készülékébe) műveletek, majd a megmunkálás és később, a raktárba vissza vagy más gépre szállítás műveletei.

12.3. Gépterhelés számítása

Jelölje a rugalmas gyártórendszerben a T tervezési időszak alatt megmunkálandó alkatrész szériákat az

$i=1,2,....I$ index.

Az egyes alkatrész szériákhoz a következő jellemzők rendelhetők:

n_i - darabszám, (sorozatnagyság)

$k_i=1,...K_i$- a i.munkadarab gyártási műveleteinek sorszáma

Legyen a gyártórendszer gyártási kapacitásainak, vagyis homogén gépcsoportjainak az indexe "h". A gyártórendszerben működjön H homogén gépcsoport (egy-egy homogén gépcsoportba az azonos teljesítőképességű gépeket soroljuk).

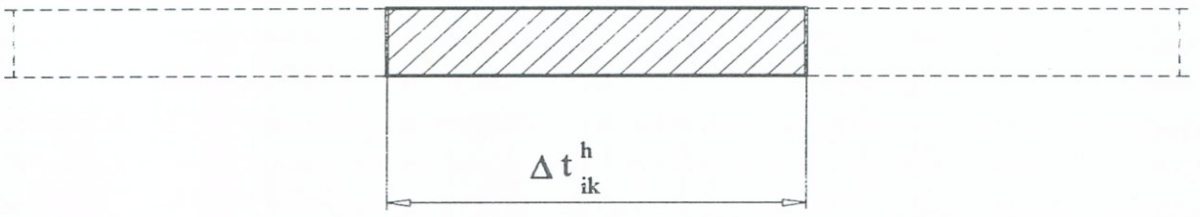
$h=1,2.....H$

A gyártórendszerben megmunkálandó valamennyi széria munkadarabjaira a gyártási folyamattervező rendszer előállítja a műveletek elvégzéséhez szükséges munkaidőket (t_{ik}^h) és a műveletek sorrendjét, azaz ismert a homogén gépcsoportok igénybevételének sorrendje és az egy-egy munkadarab megmunkálásával lekötött idő. Így, ha az i munkadarabból n_i darabot gyártunk, akkor az ik művelet a h homogéncsoporton

$$\Delta t_{ik}^h = n_i \cdot t_{ik}^h$$

időt köt le. (12.4. ábra). A teljes sorozat legyártása,

$$\Delta t_i = \sum_{k=1}^{K} \Delta t_{ik}^h$$



Az i indexű munkadarab k-adik műveletcsoportja, a h indexű homogén gépcsoporton $\Delta\ t^{h}_{ik}$ időt köt le.

12. 4. ábra: Egy műveletcsoport gépkapacitás lekötése

összegzett gépkapacitást köt le (12.5.ábra). Célszerű, ha a Δt^{h}_{ik}-t megnöveljük a gépcsoportok közti, illetve a gépcsoportok és a közbenső raktárak közötti szállítás átlagos idejével.

A termék műszaki dokumentációja tartalmazza a darabjegyzéket, amely meghatározza, hogy a termékbe egy-egy alkatrészből és részegységből hány darabot kell beépíteni. Vállalatirányítási döntés alapján ismert, hogy mit gyárt és mit vásárol az adott cég. Ahhoz, hogy a GY_i terméket a kívánt H_i határidőre el tudjuk készíteni, a gyártmányszerelés megkezdésének időpontjában a beépítendő alkatrészeknek és részegységeknek rendelkezésre kell állniuk. Mivel azok gyártásához is idő kell, meg kell határozni, hogy a H_i időponttól visszafelé számolva a külső rendeléseket mikor kell feladni, illetve a belső gyártást mikor kell megkezdeni.

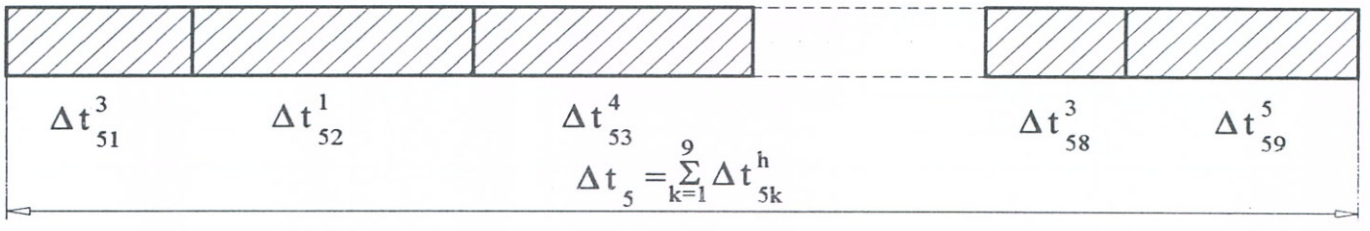
Ezt a feladatot az anyagszükséglet tervezési rendszer végzi el.

12.4. Rendelésállományok meghatározása

Erre az angol kifejezés: Materials Requirement Planning rövidítve MRP. Az MRP rendszerek által elvégzett feladatok sokrétűek. A következőkben ezek közül csak a rendelésállományok meghatározásának elvi alapjait ismertetjük.

A termelésirányítás hierarchikus rendszerének hosszú és/vagy középtávú szakaszán tisztázódik, hogy melyik termékből, milyen határidőkkel, mennyit kell gyártani.. Természetesen a rendszer sokszoros visszacsatolással működik és az alacsonyabbszintű döntések befolyásolják a felsőbbszintű döntéseket.

Adott, hogy valamely adott tervezési időszak alatt melyik termékből mennyit kell gyártani.



12.5. ábra: Gépkapacitás lekötés. Példa

Vizsgáljuk példaképpen a 12.6. ábrát. Ezen egy olyan gyártmány $(GY)_j$ alkatrész szükségletét ábrázoljuk, amelyet két szerelt részegységből (A,B) és az a,b,c,d...p alkatrészekből szerelnek össze. A részegységek a b,a1,a2 és a b1,...,c alkatrészekből szerelhetők. Az a2 és a d alkatrészek beszerzendőek, a többi gyártandó.

A szerelések, valamint az alkatrészgyártás, vagy beszerzés időszükségleteit a határidőtől (H.i.) visszafelé számolva ábrázoltuk.

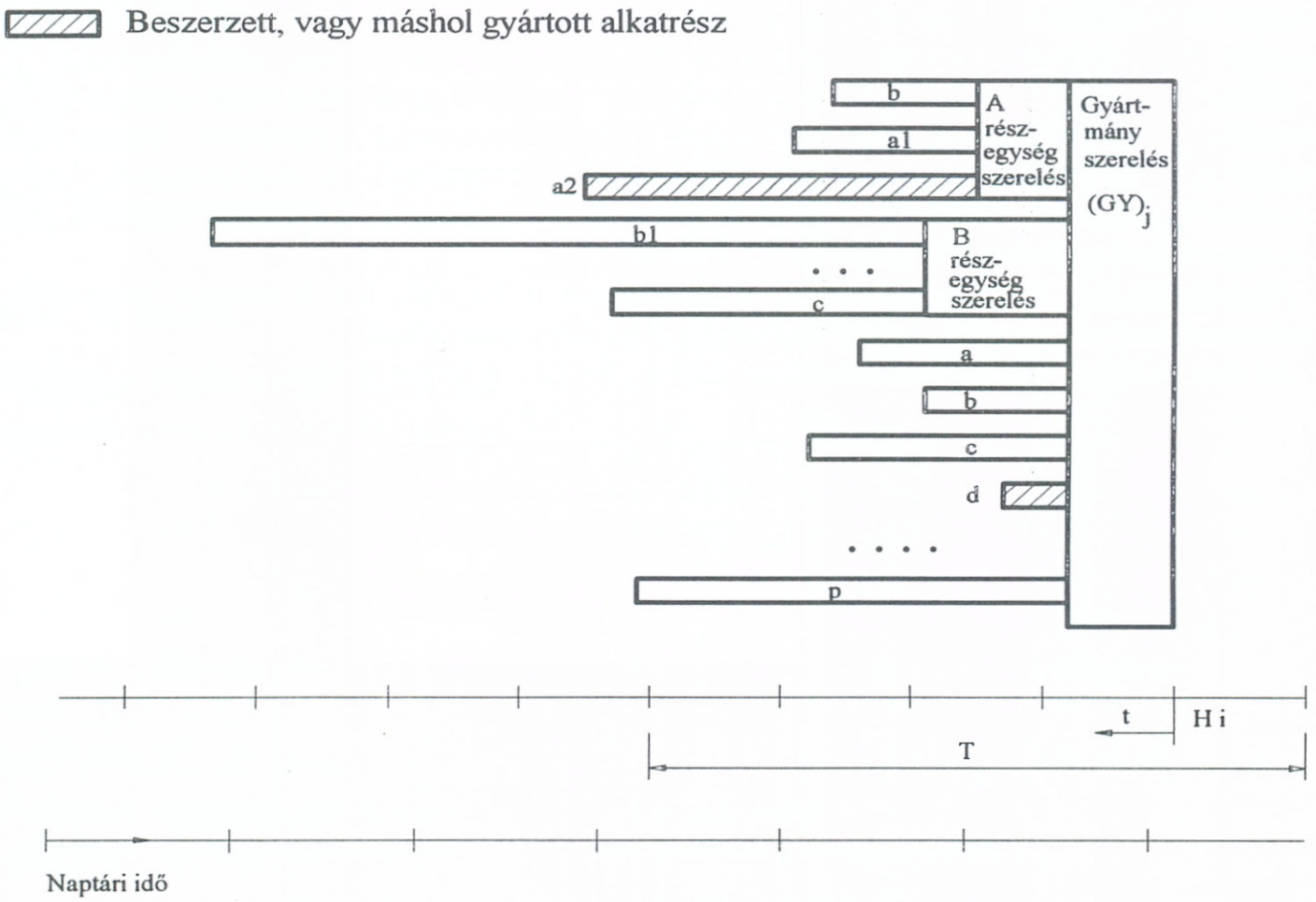
Az időlépték a gyártmány jellegétől függ. Az egység lehet nap, óra, perc, vagy akár másodperc is. Vizsgáljuk a gyártási feladat kialakulását a T időszakra.

A vállalat termelési tervében az adott időszakban különböző gyártmányok termelési feladatai szerepelnek.

Ezeket a gyártmányokat j=1,2,3,....indexekkel jelölhetjük. A különböző gyártmányoknak ésszerűen lehetnek azonos alkatrészeik. Ezeket célszerű lehet egy szériában legyártani.

A 12.6 ábráról látható, hogy a j-edik gyártmány szükségessé teszi a T időszakban a b, a1, c, a, b, c alkatrészek legyártását, az a2 és a d alkatrész beszerzését. A b1 és a p alkatrészek gyártását már korábban meg kellett kezdeni és ezt folytatni kell az adott tervezési időszakban.

Termelésirányítási döntések eredményeképpen gyakran nemcsak az adott időszakban szükséges alkatrészeket gyártják le egy szériában, hanem felmérve a további igényeket raktározásra is termelnek. Ekkor meg kell vizsgálni, hogy az adott alkatrészekből van-e,



12. 6. ábra: Anyagszükséglet tervezés (MRP)

ha igen, mennyi van a raktárban és összevetve ezt a szükségletekkel, az adott és távolabbi időszakok igényeivel kell dönteni a gyártandó darabszámokról.

A darabszámok, sorozatnagyságok ismeretében az egyes alkatrészek kapacitásigényei alapján meghatározható gyártásuk legkésőbbi kezdési időpontja.

A beszerzendő alkatrészekre rendeléseket kell feladni. Nincs elvi külöbség a beszerzendő és a gyártandó alkatrészekre vonatkozó rendelések meghatározásának módszere között.

Ezt a feladatot az MRP rendszer oldja meg.

Az MRP rendszerek tartalmaznak gyártási kapacitás számító részeket, amelyek értékelhetővé teszik, hogy a szükséges alkatrészek (szériák) legyárthatók-e. Amennyiben kiderül, hogy ezek nemcsak, hogy legyárthatók, hanem még kapacitás felesleg is van, akkor lehetőség nyílik további gyártási feladatok megoldására. Ezekről a termelésirányítási rendszer megfelelő szintjén döntenek.

Bonyolultabb a helyzet, ha kiderül, hogy a gyártási kapacitás nem elégséges a feladatok megoldásához. Ekkor a szűk keresztmetszetek feloldásának különböző módszerei alkalmazhatók. Ezek például: túlóra, kooperáció, gyártás átcsoportosítás, több műszak stb.

Ekkor jöhet komolyan szóba különböző technológiai változatok alkalmazása is.

A fent leírt tervezési filozófia a sériagyártásra jellemző.

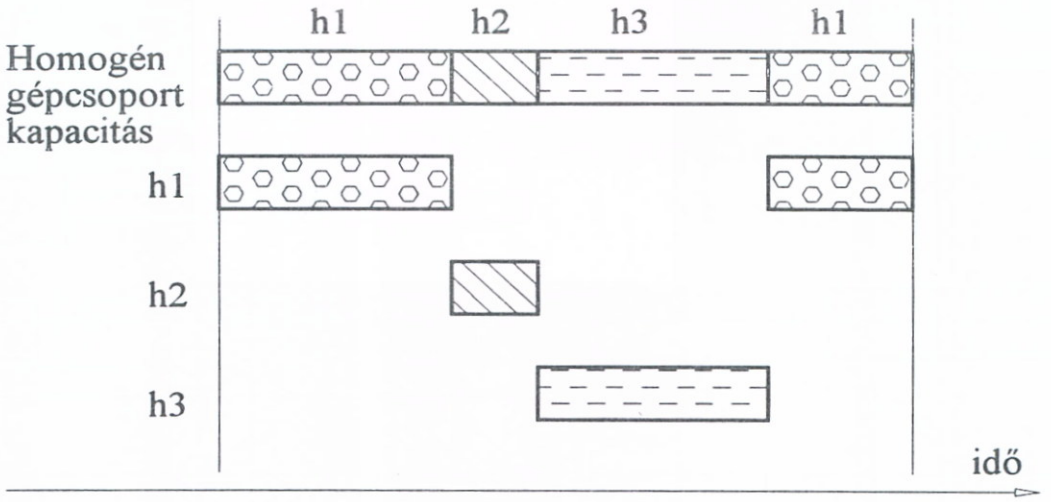
A modern gyártásban elterjedt egy új felfogás. Ez a raktár nélküli, vagy az éppen időben való (raktározás nélküli) gyártás.

Angol kifejezéssel ez a Just in Time (JIT - éppen időben) gyártási elv, ami jól megérthető a 16.6. és a 12.7. ábra alapján.

Ekkor nem arra törekednek, hogy valamely meglévő gyártórendszer kapacitásait a lehető legjobban felhasználják különböző alkatrészsorozatok gyártására, hanem arra, hogy a megmunkálandó alkatrészek, beépítendő részegységek ne várakozzanak, hanem azonnal munkába kerüljenek. Így nem szükségesek raktárak, csökken a lekötött tőke, olcsóbb lesz a gyártás. Vizsgáljuk a 12.7 ábrát.

Tételezzük fel, hogy a 12.6 ábra c alkatrészét a h1, h2, h3 homogén kapacitások felhasználásával gyártják. Az időviszonyokat az ábra szemlélteti.

Az éppen időre való gyártás esetében ahhoz, hogy a gyártás pontosan akkor fejeződjék



12. 7. ábra: Éppen időben (Just In Time) gyártás

be, amikor a felhasználás esedékes az kell, hogy a h1, h2, h3 kapacitások rendelkezésre álljanak. Természetesen a c alkatrész gyártásához nem szükséges kapacitásokat fel lehet használni más, hasonló gyártási kapacitásigényű alkatrészek gyártásához. Ha azonban ütközés van a gyártási idők között, akkor ez csak úgy oldható fel, ha a kapacitást bővítjük, vagyis új gépet állítunk be a termelésbe. A JIT gyártás mindig könnyen alkalmazható, ha a gyártási igényt meghaladják a gyártási lehetőségek.

A JIT és a kapacitások minél teljesebb kihasználása nem mondanak (szükségszerűen) ellent egymásnak, hiszen tartalék kapacitásokkal mindig kell rendelkezni.

Térjünk vissza az alkatrészek szériagyártásának esetéhez. A gyártási kapacitásszükséglet értékelése csak durva, általános lehet. Tényleges képet a gyártási kapacitás szükségletekről csak az egyes műveletcsoportok tényleges ütemezésekor, finomprogramozásakor kapunk. A kapacitásszükséglet értékelésekor fel tudjuk mérni például, hogy nincs-e nyilvánvaló kapacitásigény túllépés egy-egy homogén gépcsoport esetében. Ha a gyártási időigények összege egy-egy homogén gépcsoporton túllépi a rendelkezésre álló időt, akkor a gyártás nem realizálható. Sajnos nem mondható el ennek ellenkezője, vagyis az, hogy ha a gyártási igények összege nem lépi túl a rendelkezésre álló időt, akkor a gyártás realizálható. Nyilvánvaló, hogy ez az állítás nem helytálló, hiszen általában a gyártási feladatok nem szinkronizáltak, így óhatatlan, hogy az alkatrészek egy-egy gépen való megmunkálásuk után várakozni legyenek kénytelenek. Más esetekben viszont egy-egy gépen nincs munka, mert az ide következő alkatrészek előző művelete még nem fejeződött be.

A finomprogramozás konkrét választ ad a gyártási kapacitás igényekről. Ezzel foglalkozunk a következőkben.

12.5. Finomprogramozás

12.5.1. A feladat

Vizsgáljuk a következő problémát.
Legyenek adva a következő adatok:

T - a tervezési időszak;
$i= 1,2,....I$ - *a* T időszak alatt megmunkálandó alkatrész szériák;

$\underline{\tau_i}$; $\overline{\tau_i}$ - beérkezési időpontok és gyártási határidők;

$Kap\ (h),\ h=1,2,.....H$ - homogén gépcsoportok gyártási kapacitásai;

Δt_{ik}^{h} $(i=1,2,....I;\ h=1,2,.....H;\ K=1,2,.....K_j)$ - gépkapacitás szükséglet értékek valamennyi alkatrész széria valamennyi műveletcsoportjára.
A feladat a homogén gépcsoportok terhelési terveinek meghatározása.

A matematikai modellnek a következő részei vannak:

- a gyártórendszer jellemzői (T,$\underline{Kap(h)}$),
- az alkatrészek jellemzői ($\underline{\tau_i}$ $\overline{\tau_i}$; Δt_{ki}^h)
- állapotjellemzők, amelyek megadják a gyártás berendezéseinek pillanatnyi állapotát.

A terhelési tervek meghatározása azt jelenti, hogy valamennyi gyártási feladathoz hozzárendeljük az azt elvégző gyártási kapacitást a rendszer pillanatnyi állapotainak megfelelően.
A terhelési tervek alkotják a finomprogramot.

A fenti feladat matematikai problémaként való megfogalmazásához szükséges még, hogy megfogalmazzuk a tervezés célját.

Ennek legegyszerűbb megfogalmazása az, hogy olyan megoldást keressünk, amelynél a kapacitások kielégítik a szükségleteket. Ekkor a probléma az, hogy ilyen megoldás rendszerint sok létezhet.

A sok megoldás között viszont csak úgy tudunk választani, ha kitűzünk valamilyen optimalitási kritériumot. Ekkor a feladat a matematika operációkutatási ágának (gyakorlati esetekben) nagyméretű, diszkrét, nemlineáris programozási problémája. Ezeknek a megoldása még a korszerű számítástechnikai eszközökkel is igen számításigényes. Manapság az ilyen problémák megoldására már rendelkezésre áll a megfelelő számítástechnikai eszköztár. Ennek alkalmazása azonban a számításigényesség mellett, további problémákat vet fel. Az egyik az, hogy az optimálási kritériumok megfogalmazása, kiértékelése meglehetősen nehéz (lásd később).

Szerencsére rendelkezésre állnak olyan, az ún. prioritási szabályokon alapuló, mérnöki heurisztikus módszerek, amelyek a feladat kielégítő megoldását nyújtják és így az egzaktabb módszerek komoly versenytársai.
A következőkben ilyen módszereket ismertetünk.

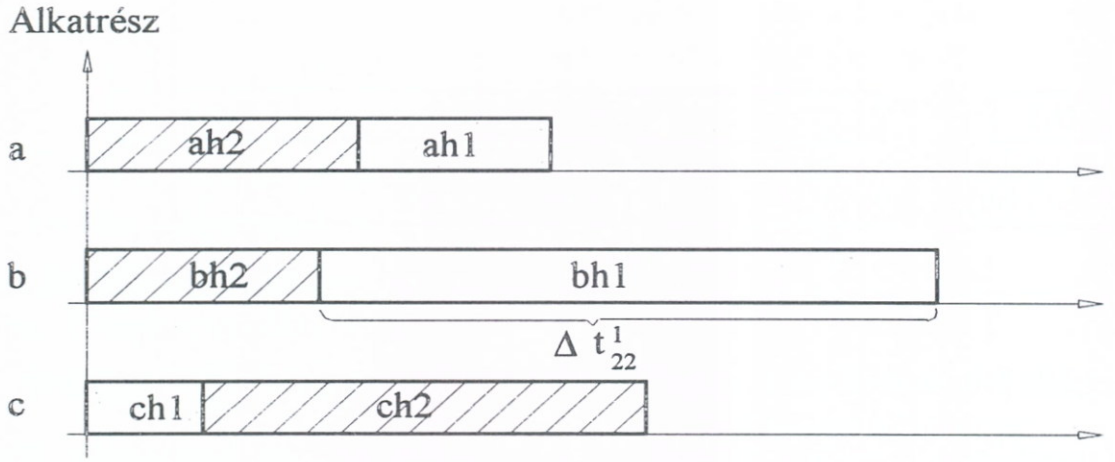
12.5.2. Finomprogramozási módszerek

A 12.8. ábrán egyszerű példát mutatunk be a finomprogramozás feladatának megfogalmazásához.
Az a, b, c, alkatrész szériákat a h=1 és a h=2 indexű homogén gyártógépcsoportokon kell legyártani. Tartozzanak az a, b, c, szériákhoz rendre az i=1,2,3 indexek.

A 12.8. ábra mutatja az alkatrészek legyártásának $\Delta\, t_{11}^2$; $\Delta\, t_{12}^1$; $\Delta\, t_{21}^2$; $\Delta\, t_{22}^1$; $\Delta\, t_{31}^1$; $\Delta\, t_{32}^2$ gyártási kapacitás szükségleteit alkatrészenként.
Vizsgáljuk a 12.9.a ábra terhelési diagramjait.

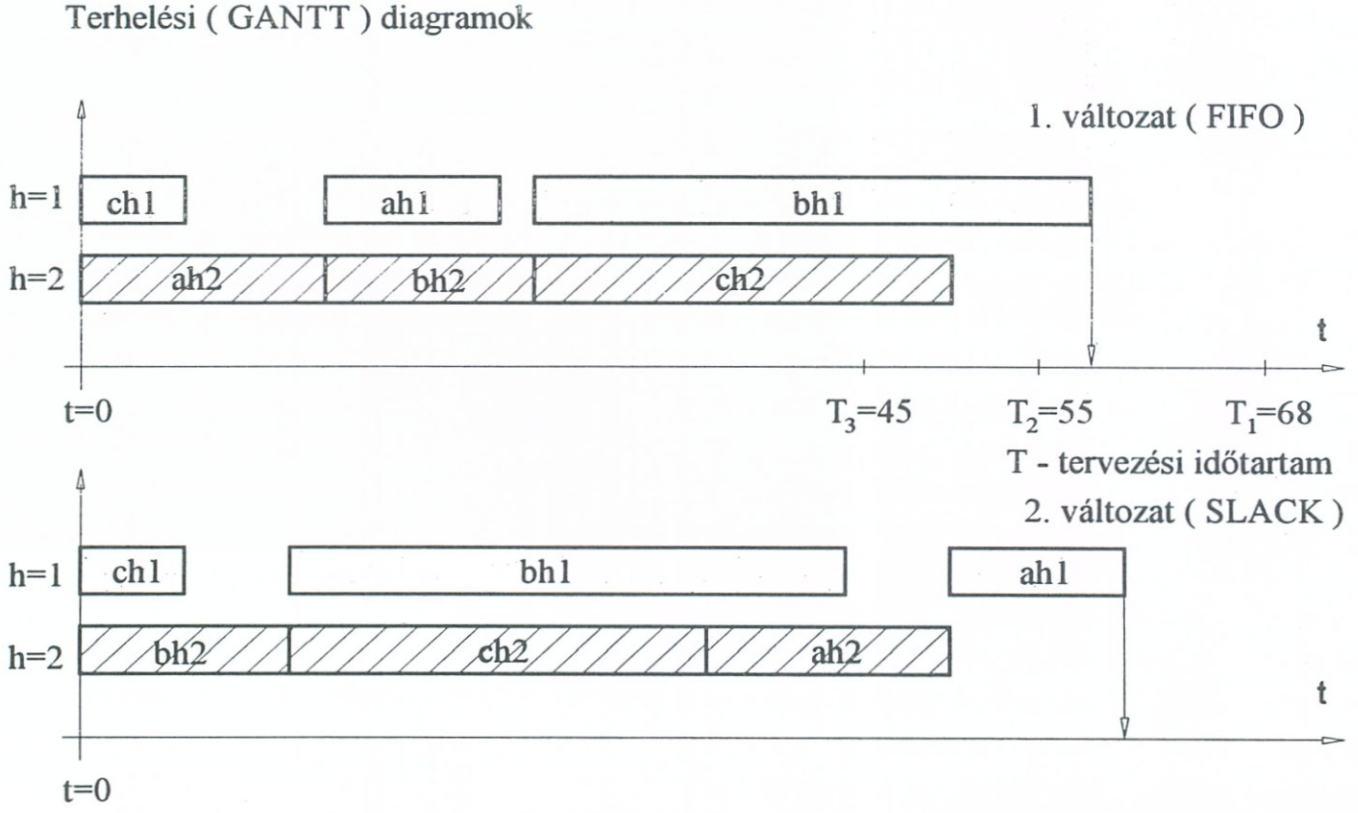
Ezeket hazánkban és a nemzetközi gyakorlatban is, GANTT diagramoknak nevezzük.

Az ábrán két változatot mutatunk be a terhelési tervekre. Ezek úgy állíthatók össze, hogy az egyes homogén gépcsoportokra várakozó sorokat képzünk a megmunkálásra váró tételekből.
Megfelelő kritériumok alapján kiválasztjuk az előnyben részesítendő tételt.
Az adott példa esetében feltételeztük, hogy az alkatrészek egyszerre érkeznek, a tervezési időszak kezdetén a rendszerbe és elkészítésük határideje szintén azonos.

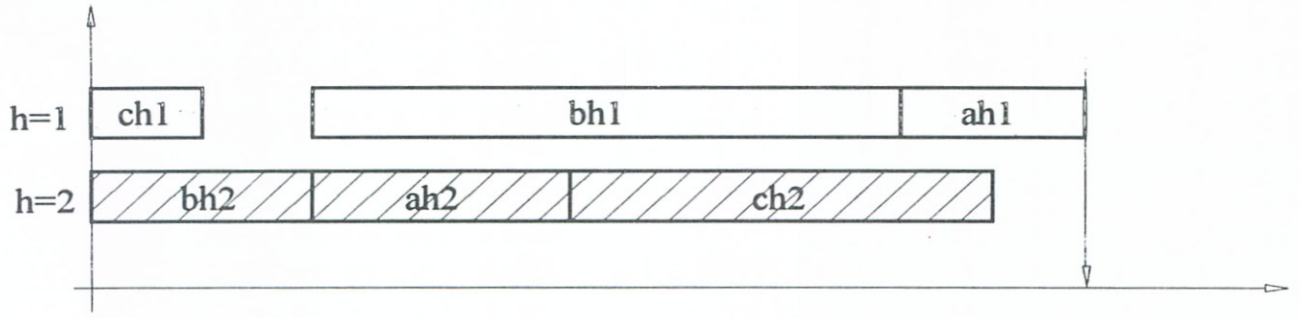


12. 8. ábra: Egyszerű példa finomprogramozási feladat megfogalmazásához

A h=1 gépcsoportra a kezdés időpontjában csak a c munka, a h=2 kapacitásra az a és a b munkák is várakoznak. Döntést kell hoznunk, hogy melyik alkatrészsorozatot kezdjük elsőnek megmunkálni a h=2 gépcsoporton (gépen).
A 12.9.a. ábra két változatában először az egyik majd a másik alkatrésszel kezdünk.
Több gép és nagyobb várakozó sorok esetében döntésünk hatásait nehezebb szemmel kísérni, mint ebben az egyszerű esetben.
A döntési szituáció minden egyes esetben megismétlődik amikor egy-egy homogén gépcsoport (vagy, összetettebb programozási módszerek alkalmazásakor ennek egy-egy gépe) felszabadul.



12. 9.a ábra: GANTT diagramok a példa esetén



12. 9.b ábra: "Intellingens" módszerrel kapott GANTT diagramok

Az adott esetben a kezdeti időpontban csak kétféle döntést hozhatunk. Ez a kétféle döntés azonban még ebben az egyszerű esetben sem határozza meg teljesen a gyártási programot.

Vizsgáljuk meg a 12.9.b ábrán bemutatott GANTT diagramot. Ezt úgy kaptuk, hogy a második homogén kapacitáson a 2. változathoz képest felcseréltük az ah2 és a ch2 műveletcsoportokat. Ezáltal az ah1 műveletcsoport hamarabb elvégezhetővé vált. Az egész gyártási feladat elvégzésének az ideje csökkent.

A fenti megoldást nevezzük "Intelligens" megoldásnak. Hasonló módon generálhatnánk "unintelligens" megoldást is. Ha az 1. változatban a bh2 műveletcsoportot felcseréljük a ch2 műveletcsoporttal, akkor - mivel a bh1 műveletcsoport befejezési ideje nagyon messzire kerül - igen rossz finomprogramot kapunk.

Ilyen egyszerű esetben a döntések hatása még lemérhető. Ám gyakorlati feladatok esetében már 4÷5 gép és 10÷20 alkatrész esetében is a, mondjuk 4÷5 tételes várakozó sorokból való választás hatása nehezen értékelhető. Ilyenkor lép fel az un. kombinatorikus robbanás, amely az összes változat kiértékelését, a teljes leszámlálást, (amely mindig célhoz vezet) kizárja.

Vizsgáljuk meg, hogy a gyakorlatban milyen heurisztikus módszereket alkalmaznak a feladat megoldására.

12.5.3. Prioritási szabályok

Finomprogramozási problémák megoldásának gyakorlati, hatékony módszerei a prioritási szabályokon alapulnak. A gyártás kezdetén, s a továbbiakban minden egyes homogén gépcsoport kapacitás felszabadulásakor megvizsgálják a várakozó sorokat.A várakozó sor minden egyes munkájára prioritási mutató számot, indexet értékelnek ki. A várakozó sorból azt a tételt választják ki, amelynek a prioritási indexe a legkedvezőbb.

FIFO

A FIFO (First in First Out) "elsőnek be elsőnek ki" prioritási szabály lényege a következő: a várakozó sorból azt a tételt választjuk, amelyik a leghamarabb került a sorba. Vagyis, beérkezéskor miden tétel a sor végére áll. A kapacitás felszabadulásakor a sorban legelső (amely értelemszerűen a leg-korábban érkezett) tétel gyártását tervezzük.

Képletben kifejezve:

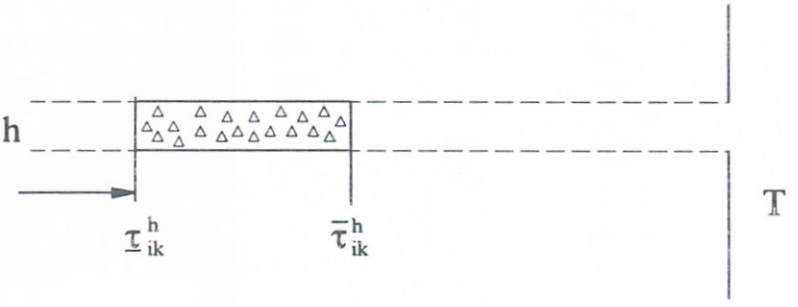
$$P_i = \overline{\tau}^{\,h}_{ik} \qquad (12.2.)$$

Ahol :

$\overline{\tau}^{\,h}_{ik}$ = a várakozó sorba kerülés időpontja.

A tételeket P_i "kicsinysége" szerint állítjuk sorba. A legkedvezőbb érték

$$P = min\ \overline{\tau}^{\,h}_{ik} \qquad (12.3.)$$



12. 10. ábra: műveletcsoport kezdési és befejezési időpontja

(12.3.)

A várakozó sorba kerülés időpontjának meghatározását a 12.10. ábra szemlélteti. Bármelyik homogén kapacitáson tervezett gyártás befejeztekor, amikor $t=(\overline{\tau}^{\,h}_{ik})$ a tétel valamely másik várakozó sorba kerül (ha az adott műveletcsoport nem utolsó). Prioritási indexe az idekerülés időpontja.

SLACK

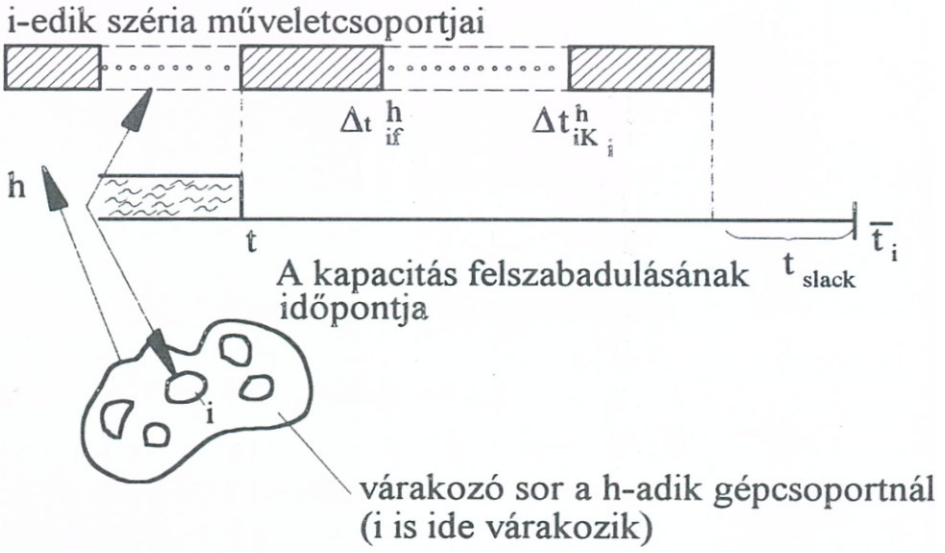
A SLACK prioritási index azt fejezi ki, hogy mennyi időtartalék (esetleg időhiány) van még az egyes tételek készregyártásához. (A sok-jelentésű angol SLACK szó egyik értelme az ilyen időtartalék, vagy - hiány).

Valamely gép felszabadulásának az időpontjában (t) a várakozó sor valamennyi tételére kiszámítjuk a SLACK értéket.

Ezt úgy kapjuk meg, hogy a tétel elkészítésének a határidejéből ($\overline{\tau}_i$) kivonjuk a még hátralévő valamennyi műveletcsoport elvégzésének az idejét.

Az így kapott érték a SLACK, vagy a t_{slack}.

Értékeljük ki a várakozó sorban valamennyi munkára a



12. 11. ábra: A t_{slack} meghatározása

$$P_i=(t_{slack})_i \qquad (12.4.)$$

mennyiséget (lásd 12.11.ábra)

A várakozó sorból azt a tételt részesítjük előnyben, amelyre

$$P=\min\ (t_{slack})_i \qquad (12.5.)$$
$$i=1,2.....I$$

Ha P negatív értékű ez egyben figyelmeztetést jelent, hogy a tétel határidőre nem gyártható le. Ha P pozitív nagy értékű, akkor a gyártás még jelentős tartalékokkal rendelkezik. Általában a $(t_{slack})_i$ érték jellemzi az adott tétel gyártásának a tartalékait, vagy ennek hiányát mennyiségileg is.
A fentiek szerint

$$(t_{slack})_i = \bar{\tau}_i - (t + \sum_{j=f}^{K_i} \Delta t_{ij}^h), \tag{12.6}$$

Az egyszerűség kedvéért nem tüntettük fel, hogy a (12.6.) képlet, értelemszerűen, valamely h indexű homogén gépcsoport várakozó sorára vonatkozik t időpontban.
A

$$t_{mégi} = \sum_{j=f}^{K_i} \Delta t_{ij}^h \tag{12.7.}$$

időérték a még hátralévő műveletcsoportok elvégzésének összideje. Értelemszerűen

$$t_{mári} = \sum_{j=1}^{f-1} \Delta t_{ij}^h \tag{12.8.}$$

a már teljesített feladatok ideje. Az alkatrész (széria) összesített gyártási kapacitás igénye

$$t_i = t_{mári} + t_{mégi} \tag{12.9.}$$

A fent alkalmazott két prioritási szabályon kívül rendkívül nagyszámú más prioritási szabály létezik, ezekre részletesen nem térünk ki csupán megemlítünk néhány gyakran alkalmazottat:

a/ Az adott gépcsoporton legrövidebb műveletcsoport idejű munkáé az elsőbbség.
b/ A legkorábbi határidejű munkáé az elsőbbség.
c/ Azt a tételt soroljuk elsőnek, amelynél a legkevesebb a még hátralévő megmunkálások összideje.
d/ Azt a munkát soroljuk elsőnek, amelynél a legtöbb a még hátralévő megmunkálások összeideje.
e/ Azt a tételt soroljuk elsőnek, amelynél minimális a hátralévő műveletcsoportok száma.
f/ Azt a tételt soroljuk elsőnek, amelynél maximális a hátralévő műveletcsoportok száma.
g/ Azt a munkát soroljuk elsőnek, amelynél a hátralévő műveletcsoportok összidejének és a várakozási idők várható értékének az összege minimális.
h/ A fenti kritériummal ellentétes változat, vagyis amikor azé a munkáé az elsőbbség, amelynél a fenti összeg maximális. Stb.

Összetett prioritási szabályok

A fenti és még nagyon sok más, a gyakorlatban használt szabály alkalmazásához szükséges mennyiségekből összetett prioritási indexek is képezhetők. Ezek lehetnek az egyes mérőszámok összegei, súlyozott összegei, hányadosaik, szorzataik, valamint a mérőszámok és hányadosaik súlyozott összege, nemlineárisan képzett (például: csonkított) értékek; valószínűségi, vagy logikai mennyiségek, stb.
Példaképpen bemutatjuk a

$$P_i = \frac{(t_{slack})_i}{t_i} \qquad (12.10)$$

indexet, amely a tartalékidő és az összmegmunkálási idő hányadosa, vagy a

$$P_i = \frac{(t_{slack})_i}{t_{mégi}} \qquad (12.11.)$$

amely a tartalékidő és a még hátralévő megmunkálási idő hányadosa.

Azt a munkát részesítjük előnyben amelyre ezek az értékek minimálisak. Alkalmaznak sok tagból álló, különböző tényezőket tekintetbe vevő prioritási indexeket is. Ezek különösen akkor alkalmazhatók jól, ha intelligens tanuló eljárásokba ágyazzuk a prioritási szabályokon alapuló módszereket.

12.5.4. Prioritási szabályok jósága

A 12.9. ábrán kétféle finomprogramot mutattunk be. Könnyen belátható, hogy az első a FIFO a második a SLACK prioritási szabály alkalmazásával készült. (A SLACK prioritási szabály alkalmazásakor azonos gyártási határidőket tételeztünk fel.)

Ebben az egyszerű esetben a FIFO szabállyal készült változat csekély mértékben előnyösebb.

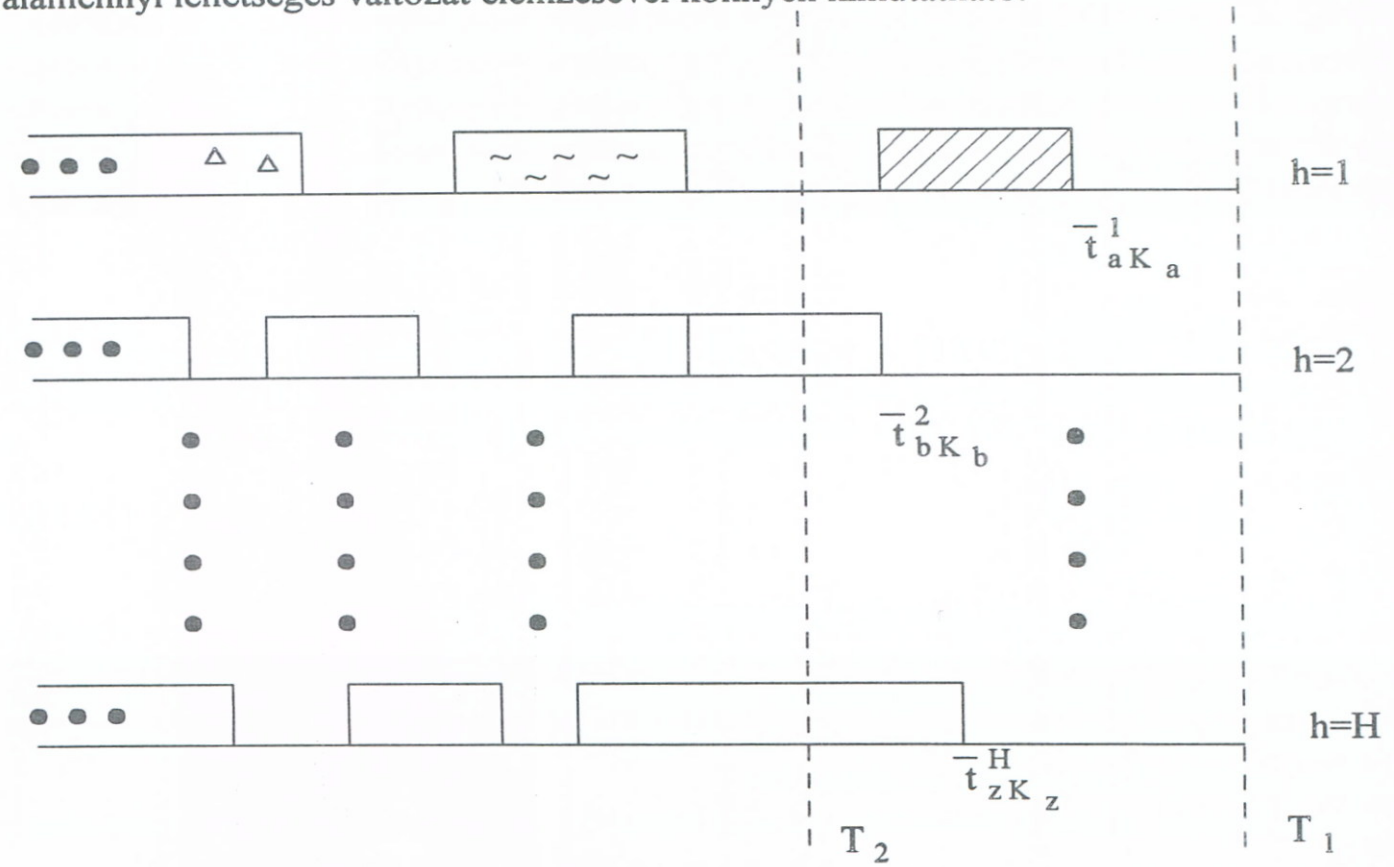
Amennyiben a gyártási határidő T_1 úgy mindkét változat megfelelő, T_2 gyártási határidő esetében egyik sem. T_3 gyártási határidő szóba sem jöhet, hiszen ekkor a második gépcsoport kapacitása eleve kisebb, mint az igényelt idő (ezt már az MRP szint is kimutatja).

Cseréljük fel a SLACK prioritási szabály alkalmazásakor a bh2 műveletcsoport elvégzése után a ch2 és ah2 műveletcsoportokat, mint ezt már korábban javasoltuk. Mivel ekkor az ah1 műveletcsoport előtt nincs várakozási idő a finomprogram szemmel láthatóan előnyösebbé válik. Mivel az utóbbi esetben nem alkalmaztunk formálisan prioritási szabályt, nevezzük ezt az eljárást intelligens módszernek.

Ekkor olyan megengedett változtatást végeztünk célszerű meggondolások alapján, amely célunkhoz közelebb vitt.

Az adott egyszerű példa esetében könnyen belátható, hogy az intelligens módszer a lehető legjobb finomprogramot eredményezte, hiszen ekkor a második gépcsoporton nincs várakozási idő, az első gépcsoporton pedig semmilyen módon nem lehet elérni

rövidebb gyártási időt (kevesebb várakozási időt). Ez az adott egyszerű esetben valamennyi lehetséges változat elemzésével könnyen kimutatható.



12.12. ábra: A finomprogramok jósága

Gyakorlati feladatok esetében a finomprogram jóságának a kiértékelése nem ilyen egyszerű. Vizsgáljuk a 12.12. ábrát. Az ábrán több homogén gépcsoportból álló gyártórendszeren számos alkatrész széria megmunkálásához készült finomprogram néhány utolsó műveletét mutattuk be. Az adott esetben az egyszerűség kedvéért tételezzük fel, hogy valamennyi munka határideje ugyanaz a (műszak vége). Nyilvánvaló, hogy jobb az a finomprogram, amely valamennyi homogén gépcsoportra az ábrán láthatónál ($\bar{t}^{1}_{aK_a}$, $\bar{t}^{2}_{bK_b}$, ..., $\bar{t}^{H}_{zK_z}$, ld. 12.12 ábra) kisebb értéket eredményezne az utolsó műveletcsoportok befejezésére. Ekkor, az ábrán látható finomprogramot, nyilvánvalóan ezzel a jobb finomprogrammal kellene felváltani. A gyakorlatban azonban a heurisztikus módszerek alkalmazásakor, ritkán kapunk ilyen eredményeket. A valóságos helyzet leginkább az, hogy egy-egy prioritási szabály egy-egy gépcsoporton kedvezőbb, másokon kedvezőtlenebb eredményeket produkál, mint mások. Azok persze, amelyek mindegyik gépcsoporton kedvezőtlenebb eredményeket adnak kiszűrődnek. (Hasonló probléma matematikai megfogalmazása az ún. többkritériumú, vagy Pareto optimálás feladatának alakjában lehetséges.)

A rugalmas rendszerek gyártó kapacitásai jelentős értékűek. Ezeken adott időszakok alatt a lehető legnagyobb értéket vagy profitot kell termelni. Ezért a finomprogramoknak telítetteknek kell lenniük. Ez azt jelenti, hogy azokat az időszakokat, amelyekre nincs gyártási feladat, mennél jobban csökkenteni kell. Amennyiben adott feladatra valamely kedvező prioritási szabályt alkalmazva azt tapasztaljuk, hogy a

határidőig még jelentős szabad kapacitások maradtak, vissza kell térni a termelésirányítási rendszer magasabb szintjére és a feladatot (a rendelést) újabb alkatrész szériákkal kell kibővíteni.

A fentiek tükrében a finomprogram jóságának egyik jellemzőjeként a feladatok befejezésének időjellemzői szolgálhatnak.

Johnson kritérium

Nagyon egyszerű és jól használható kritérium a feladat befejezésének az ideje, vagyis az az időpont amikorra az utolsó széria (munkadarab) elkészül.

A 12.12. ábrán $\bar{t}^{\,1}_{aK_a}$, $\bar{t}^{\,2}_{bK_b}$, ..., $\bar{t}^{\,H}_{zK_z}$ időpontokkal jelöltük egy-egy gyártókapacitás munkája befejezésének időpontjait. A Johnson kritérium ezek közül a maximálisnak az értéke.

Visszatérve a korábbi jelölésekre

$$K = \max_{i \in I} \bar{t}^{\,h}_{iK_i} \qquad (12.12)$$

A legkedvezőbb az a finomprogram, amely a (12.12) kritérium minimális értékét eredményezi.

Súlyozott kapacitás tartalék

Rendeljünk a homogén gépcsoportok kapacitás felhasználási idejéhez A_h *(h=1,2,.....H)* értékszorzó tényezőket.

Ezek megadják azt az értéket, amelyet a gépcsoportok időegység alatt létrehozni képesek.

Jelölje $\bar{t}^{\,h}_{jK_j}$ *(h=1,2,...H)* valamennyi gépcsoporton az utolsó műveletcsoport befejezésének időpontját.

Tételezzük fel, hogy valamennyi munka elvégezhető a tervezési időszak (T) végéig.

Képezzük a

$$K = \sum_{h=1}^{H} A_h \left(T - \max_{j \in I} \bar{t}^{\,h}_{jK_j} \right) \qquad (12.13.)$$

mennyiséget.

Ez a felírás azt fejezi ki, hogy valamennyi gépcsoportra megvizsgáljuk melyik volt az utolsó műveletcsoport és az azután fennmaradó (tartalék) időt megszorozzuk a gépcsoportot jellemző érték szorzótényezővel. Ez a mennyiség azt az értéket jellemzi, amely a feladat teljesítése után még létrehozható.

Az a tervezési stratégia (például: prioritási szabály) a legjobb, amely a $K=K_{max}$ értéket eredményezi.

További termelésirányítási döntés kérdése, hogy hogyan haszonosítható ez a gyártási tartalék kapacitás. (Iterativ feladat megoldás esetén mindaddig bővítjük a feladatot, ameddig a tartalékok megadott mérték alá nem csökkennek).

A fenti célfüggvény nagyon jól illeszkedik az optimálási problémák korszerű költségalapú (játékelméleti) felfogásához.

Tartalékidő átlag

A (12.13) képlethez hasonló kifejezéssel határozható meg a tartalékidő átlagértéke. Ekkor $A_h=1$ és

$$K = \frac{1}{h}\sum_{h=1}^{H}\left(T - max\ \bar{t}^{\,h}_{jK_j}\right)$$

Határidő túllépés, mint veszteség

Vizsgáljuk először megint azt az esetet amikor valamennyi alkatrész sorozat határideje ugyanaz (T). Hasonlóan ahhoz, ahogyan a tartalék kapacitások mint nyereségek, a határidő túllépések mint veszteségek értékelhetők.

Tételezzük fel, hogy egy-egy homogén gépcsoporton túllépjük a határidőket. Legyen H_b azoknak a gépcsoportoknak a halmaza, amelyeken ez a helyzet.

Értékeljük ki a következő mennyiséget

$$K_b = \sum_{h \in H_b} A_{bh}(T - max\ \bar{t}^{\,h}_{jK_j}), \qquad (12.14)$$

$$j \in I$$

K_b negatív mennyiség, amely a tartalékidő nyereséghez hasonlóan veszteségként értékeli a határidő túllépéseket. Az A_{bh} mennyiség általában nem egyenlő az A_h mennyiséggel. Az A_{bh} mennyiség, átalány jelleggel értékeli a határidő túllépésekkel kapcsolatos veszteségeket. Célszerűen A_{bh} rendszerint jóval nagyobb érték mint A_h

A fenti értékelési szempontok csak nagyon kis részét alkotják azoknak a szempontoknak, amelyek szerint gyártórendszerek folyamatai kiértékelhetőek.

Rugalmas gyártórendszerek esetében, a fentieken kívül többek között, a következő gazdasági célokat tűzik ki :

- A sorozatok átfutási idejének csökkenése.
- A műveletközi készletek csökkentése.
- A raktározási, szerszámozási, készülékezési, kiszolgálási költségek csökkentése.

A fentieknek és a továbbiaknak megfelelően felsorolunk néhány további kritériumot, amelynek minimalizálását célul szokás kitűzni:

- A munkák maximális, vagy átlagos késedelme.
- A munkák átfutási idejének az átlaga.
- A munkák átfutási és tényleges megmunkálási ideje hányadosának az átlaga.
- A gépek átállítási (átszerszámozási) idejének az összege.
- A műveletközi készletek értéke.

Nagyon sok esetben a tényleges jósági kritériumokat az egyes kritériumok kombinációjaként állítják össze.

Általános költségkritérium

Próbálkozzunk meg általános költségkritérium megfogalmazásával rugalmas gyártórendszerek finomprogramjai jóságának a kiértékelésére.

(lásd: J. Somló, T. Watanabe [7]).

Legyen:

$$K = \sum_{\substack{h \in H_a \\ j \in J}} A_h \left(T - max\, \bar{t}_{jK_j}^{\,h} \right) - \left\{ \sum_{\substack{h=H_b \\ j \in J}} A_{hb} \left(max\, \bar{t}_{jK_j}^{\,h} - T \right) + \sum_{h \in H} \sum_{i \in I_b} P_{bh} \left(\bar{t}_{iK_i}^{\,h} - \bar{\tau}_i \right) + \sum_{k=1}^{IK} C_k \right\} \tag{12.15}$$

A (12.15) kifejezés első tagja a tartalék kapacitás értéke, amelyet maximálni célszerű (nyereség).

A kapcsos zárójelben szereplő első tag (lásd fent) a határidőtúllépést értékeli veszteség gyanánt.

Vizsgáljuk a kapcsos zárójelben lévő kifejezés második tagját. Ez szintén a határidő túllépéseket bünteti, de nem mint gyártókapacitás hiányt, hanem mint az egyedi határidő túllépés miatt el nem készült alkatrészek hiányából eredő veszteségeket.

Az alkatrész sorozatok $\bar{\tau}_i \ (i \equiv 1,2....I)$ határidejének megadása azt jelenti, hogy valahol ezekre az adott időpontokban szükség van (szerelés kezdődik, szállítási határidőt kell tartani, stb).

A határidő be nem tartása kárt okoz. Ezt jellemzi a P_{bh} függvény, amely kiszámítandó valamennyi alkatrészre, amely határidőn túl készül el ($i \in I_b$; I_b azon alkatrész szériák halmaza, amelyek csak határidőn túl készíthetők el).

A kapcsos zárójelben szereplő utolsó tag az egy-egy finomprogramozási döntéssel járó kiegészítő költségeket jellemzi.

Minden egyes esetben, amikor valamelyik homogén gépcsoport felszabadul megvizsgáljuk a várakozó sorban szereplő munkákat és azok közül valamelyiket kiválasztjuk és következő műveletcsoportját betervezzük.

Belátható, hogy

$$IK = \sum_{i=1}^{I} K_i \tag{12.16}$$

számú ilyen döntési pont van. (K_i - az egyes sorozatok műveletcsoportjainak a száma)
Vizsgáljuk meg milyen költségkihatásai lehetnek döntéseinknek..

Tételezzük fel, hogy a várakozó sorban az "a" tételt ugyanazzal, a "b" tételt eltérő szerszámegyüttessel munkáljuk meg, mint az aktuális munkát. Ha a "b" tételt részesítjük előnyben, megjelennek az átszerszámozás költségei, ha "a"-t, akkor ezek nem merülnek fel.

Különböző munkákra, különböző döntések esetében, különböző raktározási, szállítási, manipulációs költségek rakódnak. Ezeket célszerű a műveletcsoportokhoz rögzíteni és gépre kerülésükkor a költségekbe beépíteni.

Egy-egy döntéskor a költségnövekedést a fentiek szerint meghatározott C_K érték jellemzi.

A (12.15) célfüggvény jól jellemzi a finomprogram jóságát. Különböző tagjai a követelmények különböző csoportját képviselik. Komplett adatrendszer kifejlesztése a kritérium kiértékeléséhez nem könnyű feladat, azonban úgy tűnik, hogy az ilyen jellegű célfüggvények még erős leegyszerűsítésekkel is eredményesen alkalmazhatók.

12.5.5. Másodlagos optimálás

Hagyományos gépipari gyártóüzemekben, ahol a gépek irányítását, paramétereik beállítását a műveletek során emberek végzik, a termelési programok realizálásában erősen érvényesülnek a széleskörű alkalmazkodás, az adaptivitás elvei. Így például, amikor az egyes gyártási keresztmetszeteken a kapacitások szűkeknek bizonyulnak, a folyamatokat felgyorsítják, másszóval összekapcsolják a termelésirányítást a folyamatirányítással.

Ekkor természetesen, például forgácsoláskor, növekednek a szerszámköltségek az intenzívebb kopás miatt. Akkor célszerű a folyamatokat felgyorsítani amikor a szűk keresztmetszetek tágításával elért nyereségek meghaladják a fokozott szerszámköltségben jelentkező és egyéb veszteségeket.

Más területeken is hasznos a termelésirányítás, a folyamattervezés és a gyártási folyamat irányítás összekapcsolása.

Ilyen például a következő két területet:

- Szerszámköltség csökkentés a folyamat intenzitásának csökkentésével.
- Szerszámkopások szinkronizálása.

Változó termelési feladatok esetében nagyon nehéz a termelési programokat úgy megtervezni, hogy abban ne szerepeljenek várakozási idők. Ezeket az állásidőket lehet csökkenteni szervezéstechnikai úton. Emellett, a rendszer hatékonyságára káros hatásuk úgy is csökkenthető, hogy csökkentett folyamatparamétereket (például forgácsolási sebességeket) alkalmazunk. Ez csökkenti a szerszámköltségeket és nem növel semmit, hiszen a gép (gépcsoport) az intenzívebb megmunkálási szakasz után amúgy is állna.

Nagyon gyakori az a szituáció is, amikor a gyártásban résztvevő szerszámok kopási értékei rendkívül különbözőek. Ez, különösen rugalmas gyártórendszerek esetében, jelentős többletköltséggel járhat. A többletköltségek forrásai: a rendszer állásideje a szerszámozás felújításáig, a szerszámrendszer szükségesnél gyakoribb ellenőrzése, beállítása, stb.

Ez a probléma is kezelhető a gyártási folyamattervezésbe való beavatkozással.

Azt az eljárást, amikor a gyártási folyamattervezés optimálási módszereit úgy módosítjuk, hogy azok termelésirányítási szempontokat érvényesítsenek **másodlagos optimálásnak** nevezzük.

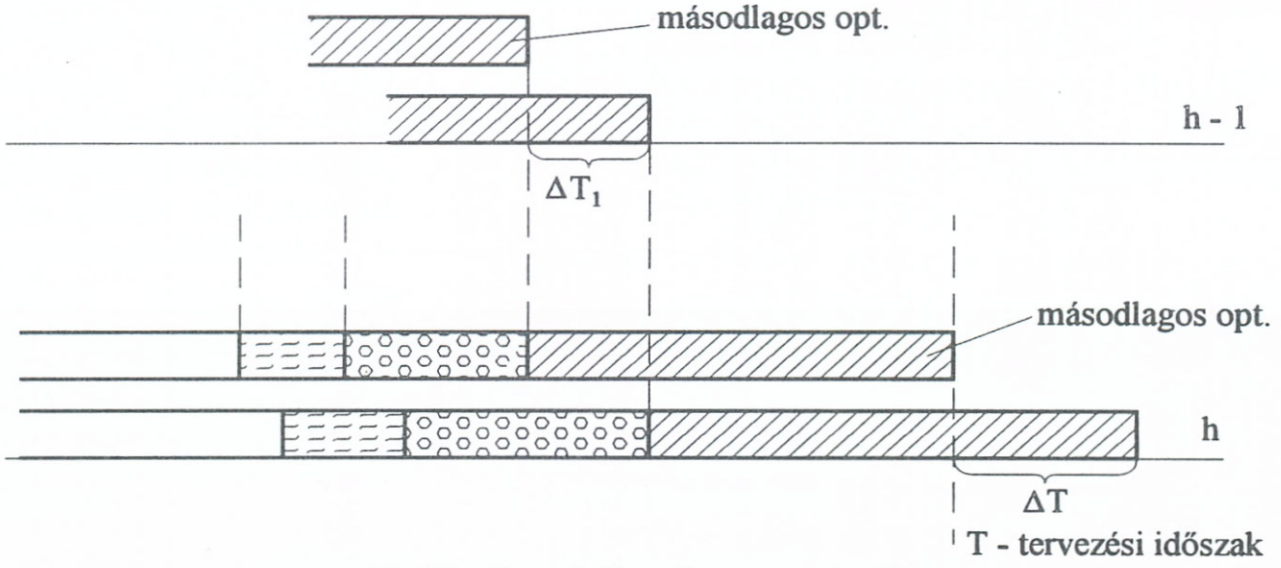
A másodlagos jelző azért jelenik meg, mert a feladat egy lépcsőben nem megoldható. Valóban, addig nem ismerhetők fel például a szűk keresztmetszetek, ameddig meg nem oldottuk a finomprogramozás feladatát. Ehhez viszont gyártási adatok kellenek, amelyeket csakis a termelésirányítási szempontok ismerete nélkül (még nincs finomprogram) tudunk meghatározni (elsődleges optimálás). A másodlagos optimálás lényegét a 12.13 ábra alapján próbáljuk szemléltetni.

A *h* homogén gépcsoporton a *T* tervezési időszak végére nem tudjuk befejezni a termelési feladatot. Ennek befejezése csak valamilyen ΔT időtúllépéssel lenne megoldható. Csökkentsük le a műveletcsoportok gyártási idejeit (ha ez megoldható) olyan mértékben, hogy a ΔT időtúllépést kiküszöböljük. Ez úgy történhet meg, hogy az időtúllépésben szerepet játszó műveletcsoportok műveletelemeinek időszükségleteit csökkentjük. Képiesen ez úgy fogható fel, hogy az ábrán bemutatott egymás végére támaszkodó rudakat mintegy összenyomjuk. Problémát az jelent, hogy a változtatások a programban "továbbterjedhetnek".

Mint a 12.13 ábrán látható a ΔT időtúllépés kiküszöböléséhez a *(h-1)* homogén gépcsoporton a ΔT_1 időtúllépés kiküszöbölése szükséges. Hasonló a helyzet a további műveletcsoportokkal és homogén gépcsoportokkal is. Képiesen ez úgy szemléltethető, hogy a rugalmas rudak végére szerelt (rugalmatlan) kar nyomja a másik homogén gépcsoporton az azonos alkatrészsorozat műveletcsoportját jellemző rugalmas rudat. Matematikai értelemben az alkalmazandó eljárás rekurzív és így ciklusban alkalmazott műveletekkel oldható meg. Amennyiben több homogén gépcsoporton van időtúllépés, ezek hatásai együttesen jelentkeznek.

Folyamatos másodlagos optimálás

A jelen fejezet szerzője által javasolt módszert [3,6] felhasználva, a műveletelemek adatainak elsődleges optimálására a 15. fejezetben vázolt matematikai modellt alkalmazva, a másodlagos optimálási probléma matematikailag szabatosan megoldható. A megoldás lényegét a 12.14. ábrán szemléltetjük.Csak a szűk keresztmetszetek



12. 13. ábra: Másodlagos optimálás

feloldásának feladatát vizsgáljuk, de az említett másik két eset teljesen hasonlóan kezelhető.

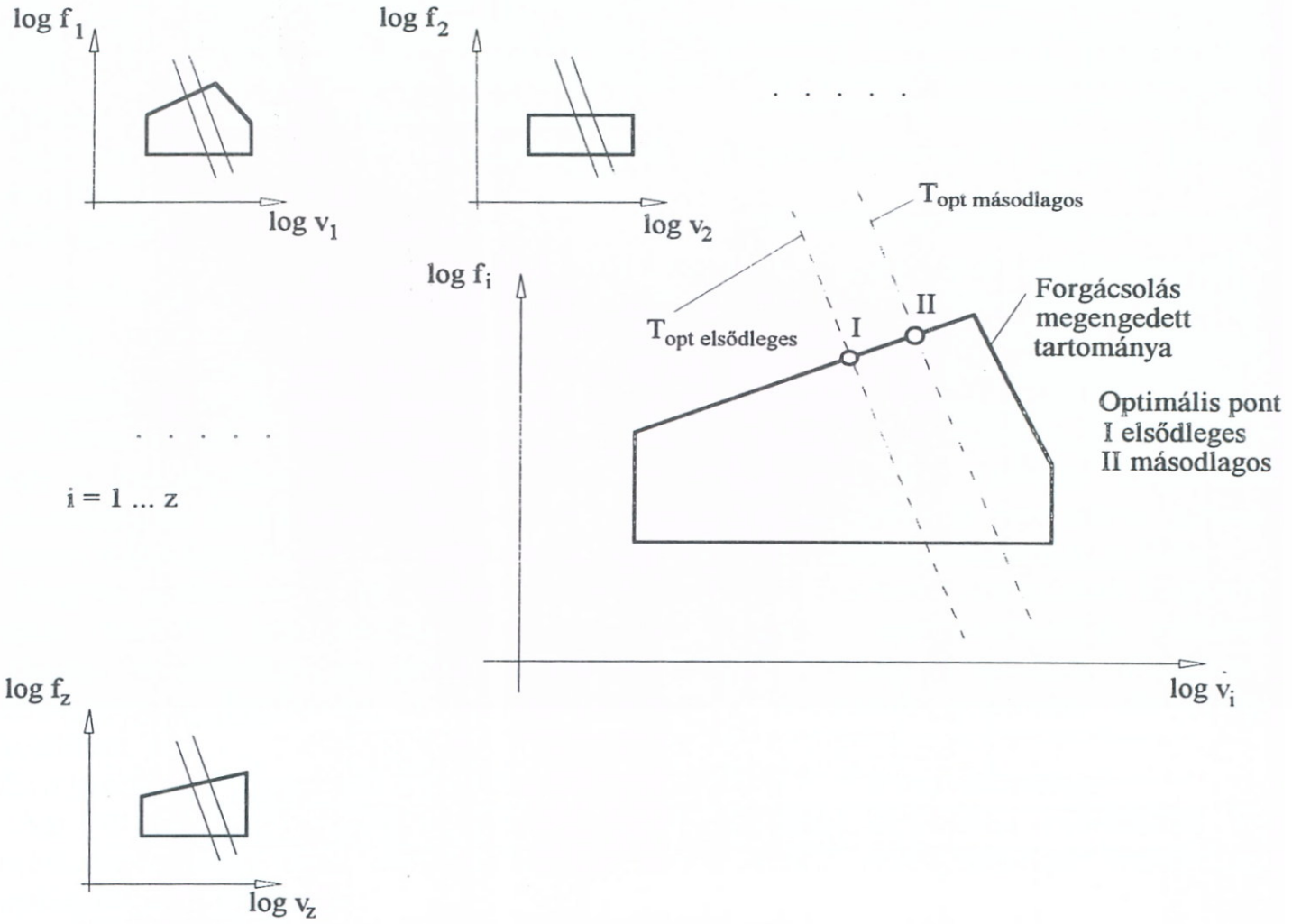
Az ábrán bemutattuk, (hosszesztergáló megmunkálást feltételezve), hogy az egyes műveletelemek optimális forgácsoló adatait a forgácsolás megengedett tartományának a határán abban a pontban találjuk meg, amelyhez az adott határvonalon a költségminimumot eredményező optimális éltartam tartozik. Az optimális éltartam, a határvonal adott meredekségű egyeneseire állandó és értéke a Taylor összefüggés paramétereitől és a szerszámköltség részesedését jellemző C_T együtthatótól függ.

A 12.14. ábrán bemutattuk valamennyi (i=1,2,....z) műveletelemet, amely kitölti a ΔT időtúllépést "kifeszítő" gyártókapacitást.

(Az időtúllépést "kifeszítő" gyártókapacitás nem feltétlenül a tervezési időszak kezdetéig terjed, mert a lehetséges üres tervezési szakaszok "elnyelik" az időtúllépés további hatását, vagy ennek egy részét).

A probléma megoldására a Lagrange-féle feltételes szélsőérték keresési módszeren alapuló eljárás alkalmazható.

Meghatározzuk a T_{opti} *(i=1,2,....z)* optimális éltartam értékeket valamennyi műveletelemre.



12.14. ábra: Folyamatos másodlagos optimálás

Ezek (vagy a határvonalak találkozási pontjai), megadják az egyes műveletelemek időszükségletét

$$t_{\Sigma} = \sum_{i=1}^{Z} t_i \ . \tag{12.17}$$

Ez az elsődleges optimálás eredménye.
Ezután bevezetjük az új, a másodlagos optimáláshoz tartozó

$$Topt.i(másodlagos) = \frac{T.opt.i(elsődleges)}{1+\lambda} \tag{12.18}$$

éltartam értékeket.

A λ Lagrange szorzó értékét addig növeljük (értéke zérus elsődleges optimáláskor) ameddig nem teljesül a

$$t_{\Sigma}\ (másodlagos) = t_{\Sigma}\ (elsődleges) - \Delta T \tag{12.19}$$

feltétel.

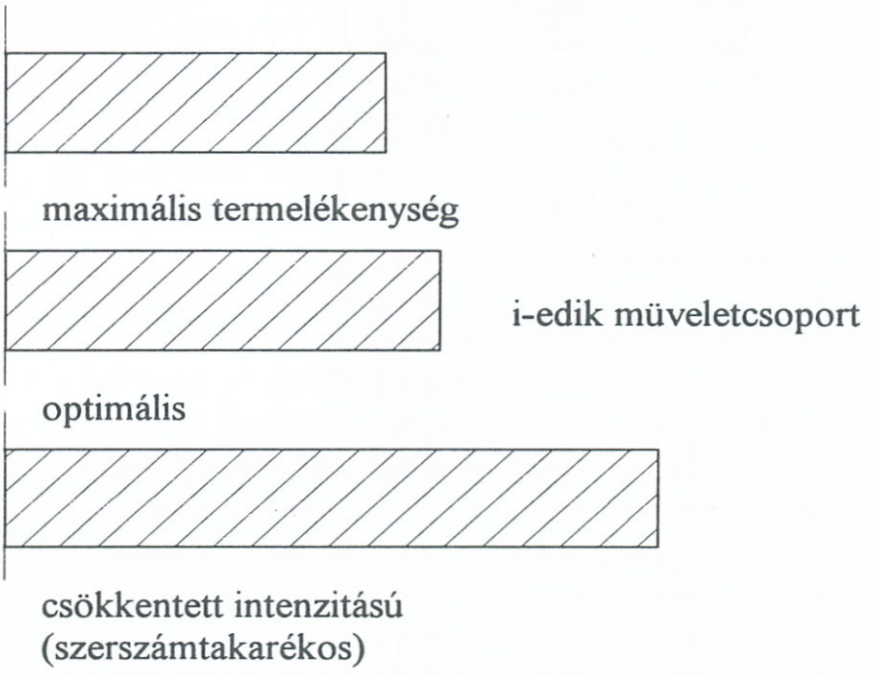
Diszkrét másodlagos optimálás

Fogalmazzuk meg a fenti feladat egy másik változatát [7]:

A másodlagos optimálás feladatát most azzal a feltétellel kívánjuk megoldani, hogy a technológiai adatok csak diszkrét értéket vehetnek fel. Mégpedig a minimális költséget eredményező (optimális), a legnagyobb termelékenységet (minimális időt) eredményező (intenzív) és a legkisebb szerszámköltséget eredményező csökkentett intenzitású (12.15. ábra) értékeket.

A másodlagos optimálási probléma matematikailag nagyméretű, diszkrét, nemlineáris programozási feladat. Megoldása a folyamatos esettől eltérően rendkívüli számítástechnikai nehézségekkel jár. Ugyanakkor gyakorlati jelentősége igen nagy, hiszen a technológiai adatok folyamatos változtatására ritkán nyílik lehetőség. Ugyanakkor, diszkrét értékű változtatásuk könnyen megvalósítható.

Mindezek alapján példaképpen csak a szűk keresztmetszetek feloldását vizsgálva a következő heurisztikus módszert javasoljuk a feladat megoldására.



12.15. ábra: Diszkrét másodlagos optimálás

Azon a homogén gépcsoporton, amelyen időtúllépés van a legutolsó műveletcsoport időfelhasználását optimális értékről minimális értékre csökkentjük. Ha ezzel nem szűnik meg az időtúllépés, az ezt megelőző műveletcsoporttal végezzük el ugyanezt. Ekkor azonban, a korábbi műveletcsoport kezdési ideje korábbi időpontra kerül, ami egy más homogén gépcsoporton generál hasonló feladatot. Az eljárás hasonló módon folytatódik, az időtúllépésből eredő értékek egyre csökkennek egészen addig, ameddig teljesen el nem enyésznek. Ekkor a feladatot megoldottuk, amennyiben ez egyáltalán lehetséges.

Az eljárás ebben az esetben is rekurzív, számítástechnikailag könnyen realizálható. A különböző homogén gépcsoportokon való időtúllépések hatásai együttesen jelentkeznek.

A szűk kapacitások ilyen módon való kiküszöbölése után a finomprogram még javítható a szerszámtakarékos üzemmódok bevezetésével ott, ahol ez lehetséges.

A másodlagos optimálás hatékonysága

A másodlagos optimálás akkor alkalmazható hatékonyan, amikor az általa nyújtott nyereség nagyobb, mint a vele járó veszteség. Amikor a szűk keresztmetszetek feloldására intenzívebb gyártási folyamatokat alkalmazunk, ez az eszköz költségek (például: szerszámköltség) növekedésével jár.

Az alkalmazott módszerek hatékonysága értékelhető a (12.15) célfüggvény (vagy hasonló) felhasználásával.

A szűk keresztmetszetek csökkentésének eseténél maradva az intenzívebb forgácsolás növelheti a célfüggvény első tagját (nyereség), csökkentheti, akár ki is küszöbölheti az időtúllépésből eredő veszteségeket (a kifejezés második és harmadik tagja).

Ugyanakkor a célfüggvényt ki kell bővíteni az intenzívebb gyártás következtében megjelenő $\Delta K(E)$ többletköltséggel (itt E-eszköz). $\Delta K(E)$ legtipikusabban a megnövekedett szerszámköltségből származik. Vezessük be a $K_e=K_e(P_e)$ jelölést az elsődleges optimáláskor (12.15) szerint meghatározott célfüggvény értékre , ahol Pe - az elsődleges optimáláskor kiszámított gyártási paraméterek.

Legyen továbbá $K_m=K_m(P_m)$ (12.15), ahol P_m - a másodlagos optimáláskor számított gyártási paraméterek.

$$\text{Ha } K_e<K_m-\Delta K(E)$$

a másodlagos optimálást célszerű alkalmazni (a célfüggvényt maximálni kívánjuk).

Sok esetben a célfüggvények "pontos" kiértékelésére nincs szükség, elégséges a tendenciák értékelése. Például, ha az időtúllépések miatt fellépő többletköltségek magasak, a szerszámköltségek részesedése viszont alacsony, akkor nyilvánvaló a másodlagos optimálás alkalmazásának a hatékonysága.

Ezekben az esetekben a hagyományos heurisztikus tervezés is felhasznál teljesen hasonló eljárásokat. Ilyen például, amikor maximális termelékenységű folyamatokat alkalmaznak. A hagyományos tervezéshez képest korszerű, számítógépes módszerek alkalmazása előnyt jelenthet az intenzív (szerszámigényes) gyártás elkerülésére, amikor az nem indokolt.

A másodlagos optimálás alkalmazásának hatékonysága nyilvánvaló azokban az esetekben amikor ez csak nyereséget hoz. Ez a helyzet, például amikor szerszámtakarékos megmunkálási módokat alkalmazunk egyébként álló gépek idejének hasznosítására.

12.5.6.Finomprogramozási feladatok megoldása szakértőrendszerek alkalmazásával

A finomprogramozási feladat sokváltozós, soklépcsős döntési probléma, ahol az egyes döntések konkrét hatásai nehezen értékelhetőek. Ellentmondásnak tűnik a fenti állítással szemben a korábban megfogalmazott (lásd:12.15 összefüggés) optimalitási kritérium.

Az ellentmondás látszólagos. A célfüggvény kiértékelése sokszor valóban nagyon nehéz. Emellett az nem tükröz számos a rendszer viselkedésével kapcsolatos fontos szempontot.

Szakértőrendszer alkalmazásakor viszont sokoldalú szempontrendszer érvényesíthető.

Az egyik kézenfekvő megoldás a prioritási szabályok megválasztásának segítése szakértőrendszer alkalmazásával.

J.Kim, E.F.Fichter, K.H.Funk a [4] munkában olyan szakértőrendszer leírását adják, amely a rendelési állománytól függően meghatározza a legkedvezőbb finomprogramot.

A rendszer működése, betanítása a szakértő és a szakértőrendszer együttes tevékenységén alapszik.A szakértőrendszer különböző prioritási szabályokat alkalmazva felajánlja a kiindulási tervváltozatokat. A szakember, interaktív módszert alkalmazva, megváltoztatja a terveket, minden alkalommal indokolja a változások okát. A szakértőrendszer kiértékeli, hogy adott rendelési állományoknál milyen prioritási szabályok alkalmazásával, milyen további eljárások felhasználásával lehet kedvező eredményeket elérni. A szakértőrendszer tanácsot ad a szakértőnek, aki ezt vagy elfogadja, vagy nem. Ha nem, akkor olyan változtatást javasol és indokol, amely további adalék a tudásbázis fejlesztéséhez.

Térjünk rá arra a kérdésre, hogy milyen jellegűek lehetnek a szakértő javaslatai, szakértőrendszerek alkalmazásakor finomprogramozási feladatok megoldására.

- A szakértő javaslatot tehet az alkalmazandó prioritási szabályra.
- A bevezető példa esetében bemutattuk, hogy egyes munkák felcserélésével a finomprogram lényegesen javítható. Ez könnyen megvalósítható szomszédos tételek esetében, de szélesebb körben is alkalmazható (egymástól távolabbi munkák, több munka sorrendjének felcserélése).
- Nagyjelentőségű az ún. előretekintő tervezés. Ekkor, a munkákat nem csak a pillanatnyilag létező várakozó sorból választják ki, hanem tekintetbe veszik a rövidesen beérkező tételeket is.
  Valójában sokszor előfordul, hogy a beérkező nagyon sűrgős munkát nem tudjuk tervezni, mert a szükséges gépcsoportokra már rátettük a korábban ottlévők közül valamelyik egyáltalán nem sűrgős munkát.
- Nagyjelentőségű az esetleges optimálási célfüggvény illesztése a konkrét rendelési állományokhoz. Ha bizonyos feladat típusoknál kijelölhetők könnyen kiértékelhető, a követelményeket jól jellemző

célfüggvények, akkor ezeket a szakértőrendszer hatékonyan beépítheti eljárásai közé.

- ●●●●● Kialakíthatóak az eszközökkel, a szerszámokkal, készülékekkel, szállító, manipuláló berendezésekkel, a raktározással, a karbantartással, stb. kapcsolatos olyan tudás-tény-gyűjtemények, amelyek mind nagyban befolyásolják a rendszer folyamatai tervezésének a jóságát.

A másodlagos optimálás, a technológiai változatok alkalmazása széles lehetőséget nyújt szakértői tudás útján a termelési programok javítására. A fentieket, és még sok mást, mind hordozza a szakértői tudás nagy zsákja. A nagytudású szakértő képes is lehet ezek bemutatására. A szakértőrendszerek haszna akkor jelentős amikor ezt a tudást nagyméretű feladatok esetében kell alkalmazni. Ekkor az emberi átlátás korlátai élesen megmutatkoznak, míg a szakértőrendszerek lehetőségei szélesen kibontakoznak.

12.6. Gyártási folyamatirányítás

A termelésirányítási rendszer az adott időszakra megadja a gyártórendszer számára a részletes gyártási programot. Ez valamennyi gyártóberendezés számára tartalmazza, hogy mikor milyen feladatot kell elvégeznie. A feladatok elvégzését a valós időben (real time) működő gyártási folyamatirányító rendszer biztosítja. Mint már korábban vázoltuk, az üzemi irányító rendszer a megfelelő pillanatokban aktivizálja a megfelelő eszközöket. Feladataik elvégzése után regisztrálja eredményeiket és utasítást ad a következőkre. Feltölti az eszközök irányító berendezéseit a megfelelő információkkal (például: NC programokkal). Az irányító rendszer egyik feladata az emberi közreműködéssel elvégzett feladatok beillesztése az automatizált működésbe.A termelésirányítási rendszer által kidolgozott feladatütemezést át kell dolgozni a folyamatirányítás utasításaivá.

Az üzemi irányítórendszer feladatai logikailag a következő csoportokba sorolhatók:

- ● Normális ütemezési üzemmód.
- ●● Monitorizálás, diagnosztika.
- ●●● Hibaelhárítás.

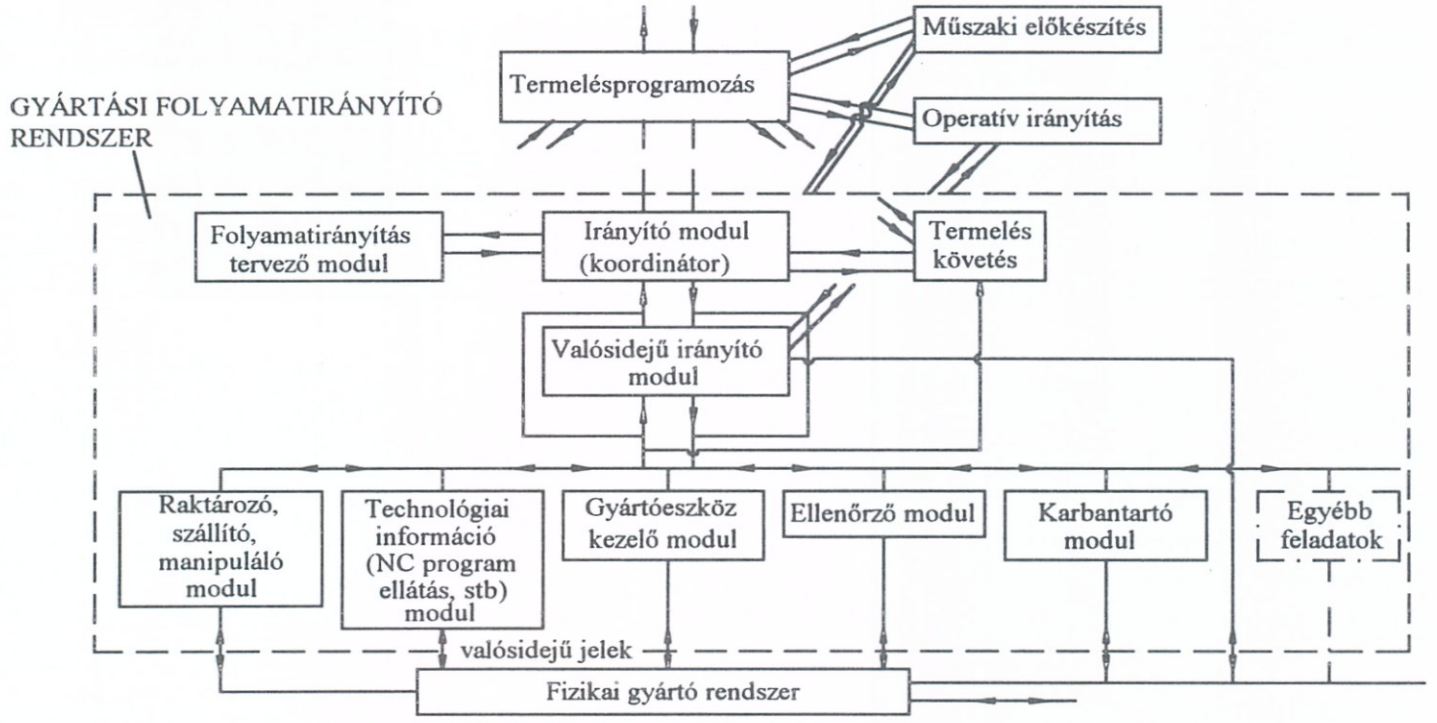
Az első csoportba tartozik a gyártási program feladatonkénti megvalósítása, a másodikba ennek figyelése, probléma esetén a deviáns működés detektálása és diagnosztizálása.

A harmadikba a problémák elemzése alapján az ezek kiküszöbölésére hozandó intézkedések kidolgozása és megvalósítása tartozik

Ez egyszerű esetben módosított működési változat bevetése, bonyolultabb esetben új gyártási részprogram kezdeményezése is lehet.

12.6.1. Gyártási folyamatirányítási rendszer szerkezete

Gyártási folyamatirányító rendszerek egy lehetséges szerkezeti felépítési vázlatát a 12.16. ábrán adjuk meg.



12. 16. ábra: Gyártási folyamatirányító rendszer szerkezete

Az ábráról egyértelműen kitűnik, hogy a **folyamatirányítási rendszerben** központi helyet foglal el az **irányító modul**, vagy másnéven **koordinátor**. Ez tart kapcsolatot a **termelésirányító rendszerrel** és a **folyamatirányító rendszer** többi moduljaival.

Az ábrán látható kapcsolatok a megvalósított gyártórendszer automatizálási szintjétől és a irányító hardver eszköztől függően, on-line vagy off-line jellegűek lehetnek.

Az on-line kapcsolatok eleve feltételezik a számítógépes irányítás implementációját, de a számítógépes rendszerek esetében az off-line kapcsolatok is megvalósíthatók megfelelő számú terminál alkalmazásával.

A 12.16. ábrán látható folyamatirányítási modulok funkciója a következő:

Az **irányító modul (koordinátor)** feladata, hogy biztosítsa a folyamatirányítás többi moduljainak összehangolt működését a **termelésirányítási rendszerrel** és végrehajtassa az adott termelési feladatot, fenntartva a fizikai gyártórendszer termelőhelyeinek zavartalan működését. Az aktuális termelési feladat végrehajtására ez aktiválja a többi modult. A fizikai gyártórendszer állapotát az irányított rendszerből érkező állapotjelek alapján ismeri, ezekből tudja, hogy melyik irányítási feladat vált aktuálissá és ennek végrehajtására aktiválja a feladat elvégzésére szolgáló modult.

A **raktározó- és szállító modul** feladata a munkadarabok géphez, illetve géptől való szállításának megtervezése és irányítása (műveletközi raktárból a géphez, vagy géptől a raktárba, géptől egy másik géphez, a raktárak feltöltésének és ürítésének tervezése és irányítása).

A **technológiai információs modul** feladata, hogy ellássa az új munkát fogadó termelőhelyet az aktuális megmunkálási feladat elvégzéséhez szükséges gyártási dokumentációval. Ez utóbbi állhat hagyományos műveleti bizonylatokból, (pl. művelettervek),

vagy NC programokból és munkalapokból. On-line rendszer esetében az NC programok adatátviteli vonalakon át kerülnek a szerszámgépek vezérlő egységébe (DNC funkció).

A **gyártóeszköz kezelő modul** lényegében az aktuális gyártási feladathoz szükséges gyártóeszközök (szerszámok, készülékek, mérőeszközök stb.) megfelelő termelőhelyhez való kiszállításáról gondoskodik a műszaki előkészítés raktárából. A művelet végrehajtása után ugyanezen eszközöknek a raktárba való visszaszállítását látja el.

Az **ellenőrző modul** gondoskodik a munkadarabok műveletközi ellenőrzésének megszervezéséről és irányításáról. Ez lehet automatizált (pl. mérőgépekkel történő mérés), vagy hagyományos ellenőrzés (MEO részlegben végzett mérés). Lényegében a műveletközi ellenőrzések a gyártás egy-egy gépi, vagy kézi műveletének tekinthetők. Ennek a "műveletnek" fontos jellemzője, hogy detektálja az előző gyártási műveletben keletkezett esetleges selejtet és erről informálja az **irányító modult** a megfelelő intézkedés meghozatala céljából.

A **karbantartó modul** feladata a véletlenszerű gépmeghibásodások kijavításának megszervezése. Feladata viszont nem terjed ki a tervszerű megelőző karbantartásra (TMK).
Az egyes berendezések vezérléseit (NC vezérlés, robotvezérlés, PLC, stb.) a fizikai gyártórendszer részeiként értelmezzük.

12.6.2. A MAP-TOP koncepció

A MAP és a TOP betűszavak jelentése a következő;
MAP-Manufacturing Automation Protocol (Gépipari automatizálási szabvány rendszer)
TOP-Technical Office Protocol (Műszaki irodai szabvány rendszer).

A korábbi pontokból világos, hogy integrált gyártórendszerek fejlesztésekor meg kell oldani különböző gyártók különböző elektronikai berendezéseinek hardver és szoftver illesztését. Ez rendkívül nehéz és költséges feladat. Egyes becslések szerint az informatikai beruházások több mint felét is kitehetik ezek a költségek. Az egyik legnagyobb alkalmazó a General Motors 1980-ban kezdeményezte a gyártási folyamat automatizálás céljait szolgáló szabványrendszer kidolgozását. Ez később kibővült azzal a szándékkal, hogy a műszaki tervezés és termelésirányítás információit is e rendszerhez csatolják (TOP).

A MAP fejlesztésére létrejött munkabizottság a 7 rétegű ISO-OSI (nyílt rendszerek összekötése) referencia modellt tekintette a szabványos hálózatok elvi alapjaiként. A MAP elsődleges célja az volt [1], hogy lehetővé tegye a különböző forrásokból beszerzett automatizálási, számítástechnikai eszközök közötti egységes és könnyű információ átvitelt. Az alkalmazott MAP interfésszel ellátott elektronikus berendezések között lehetőség nyílik tetszőleges információ bármely irányú továbbítására. A MAP fejlesztése napjainkban már széles körben, nemzetközi szinten folyik.

Nem csak ez a szabványosítási törekvés létezik. Sok országban több államilag is támogatott intézmény, több nagy iparvállalat saját szabványokat fejleszt hasonló feladatok megoldására. A korszerű gyártásautomatizálás eszközeinek fejlődése valamennyi területen látványos sikereket mutat.

12.7. Integrált rendszerek felépítése, részrendszerei

A jelen fejezet bevezető részében már röviden vázoltuk a modern gyártórendszerekkel kapcsolatos alapvető fogalmakat.

A fejezet további részeiben az olvasó képet kaphatott néhány fontos részproblémáról, részrendszerről.

E helyen a [2] munka nyomán, összefoglaljuk az integrált gyártórendszerekkel, ezek működésével kapcsolatos legfontosabb fogalmakat. Ismertetjük részrendszereiket, ezek feladatait és kapcsolódásaikat.

Az integrált gyártás koncepciója abból indul ki, hogy bármely termelési rendszer egymással kapcsolatban álló funkcionális erőforrások együttese, ahol az együttes működés eredményességét, annak mennyiségi és minőségi mutatóit az erőforrásokon végrehajtott operációk és azok kapcsolatai együttesen határozzák meg.

A kapcsolatok szervezeti (organizációs), informatikai (adatfeldolgozási, irányítási) és anyagáramlási (ellátási, logisztikai) jellegűek. A termelési rendszer szorosan kapcsolódik piaci környezetéhez, ezért a kapcsolatok részben belső, részben külső természetűek.

A termelési rendszer (vállalat) három legfontosabb alrendszerének (funkciócsoportjának) a vállalatirányítási (management), a műszaki (engineering) és a termelési (production) alrendszereket tekintjük. A belső integráció ezek elemeinek kapcsolatát jelenti. Az "integráció" maga is összetett fogalom, amelyen a szóbanforgó rendszer elemeinek a nagyobb egységbe illesztését, rendezését, az elemek kapcsolatának kiterjesztését, működésének koordinációját értjük.

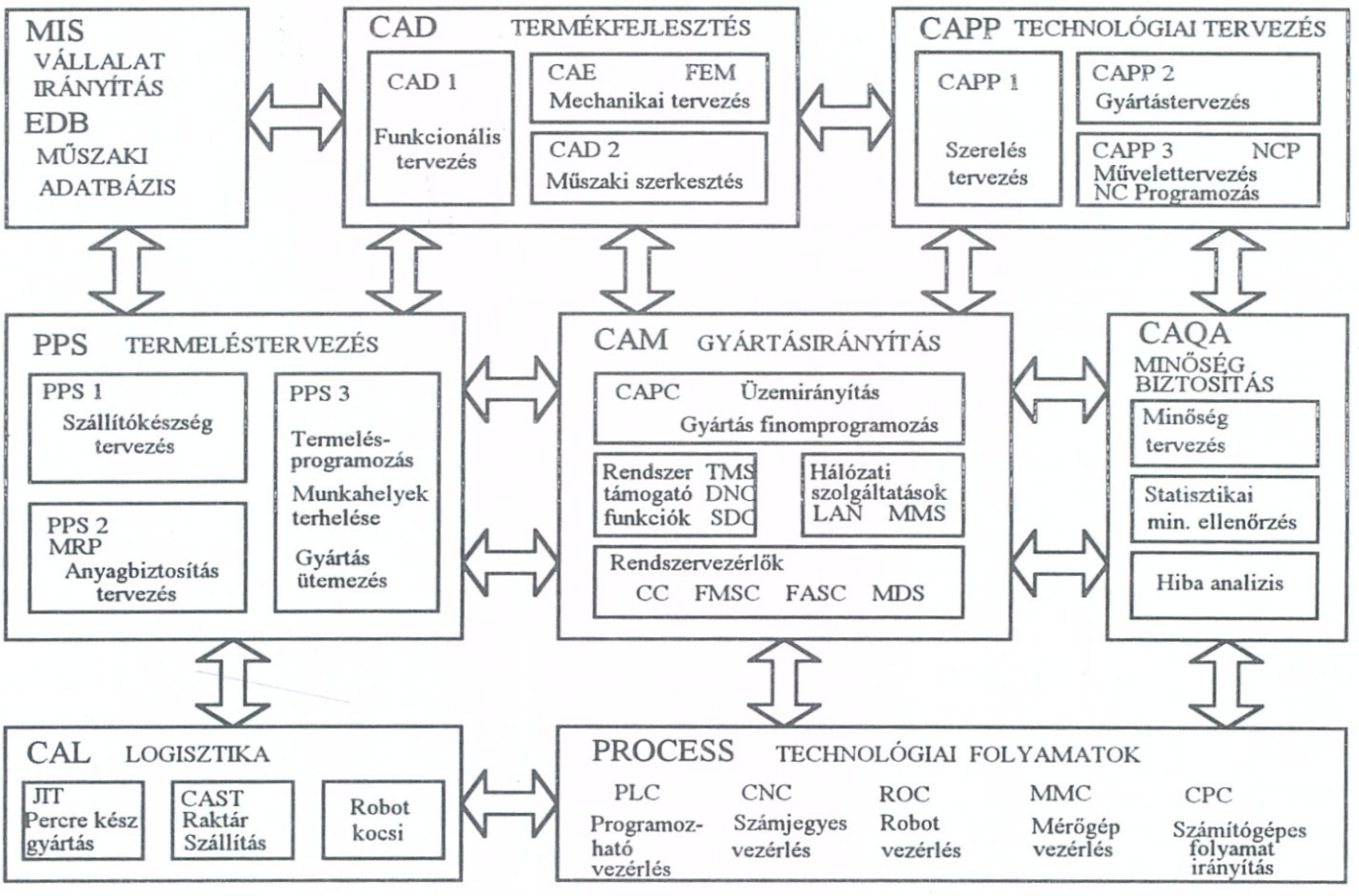
A CIM fogalma kezdetben szorosan kapcsolódott a magas automatizáltsági szintű rugalmas gyártórendszerekhez, robotizált, robotkocsis anyagellátáshoz. A CIM fogalom fejlődése során ma már ide értjük a termelési folyamatok funkcionális moduljait támogató szoftver rendszereket is, amelyek már nem kötődnek szorosan a legmagasabb szintű automatizáláshoz.

A CIM fejlődésének most kezdődő szakaszában már a vállalatirányítási, gazdasági, pénzügyi, vevő és beszállító kapcsolattartási funkciók, valamint a műszaki és gyártási funkciók integrálására van szükség. Ezt a keretrendszert már talán célszerűbb lesz számítógépes vállalati rendszernek (Computer Integrated Enterprise) nevezni.

A CIM tehát - mai értelmezés szerint - a termeléshez kapcsolódó vállalati funkciók olyan integrált együttese, amelyben a funkciók informatikai folyamatait számítógép támogatja, és az alkalmazási modulok informatikai kapcsolatait helyi hálózat (LAN) egységes adatbázis és üzenetszolgáltatások (MMS) biztosítják.

A CIM rendszerek funkcionális moduljait és kapcsolataikat a 12.17. ábrán foglaltuk össze. A rövidítések:

- MIS- Management Information System - menedzseri információs rendszer.
- EDB- Engineering Date Base - mérnöki adatbázis.
- CAPP- Computer Aided Process Planning - gyártási folyamattervezés
- NCP- Numerical Control Programming- NC programozás
- PPS- Production Planning System - termelésirányítási rendszer
- CAPC-Computer Aided Process Control - számítógéppel segített gyártási folyamatirányítás
- CAQA -Computer Aided Quality Assurance - számítógéppel segített minőségbiztosítás
- LAN - Local Area Network - helyi hálózat
- PLC -Programmable Logic Controller - programozható logikai vezérlő
- CAST- Computer Aided Storage and Transportation - számítógéppel segített raktározás és szállítás.



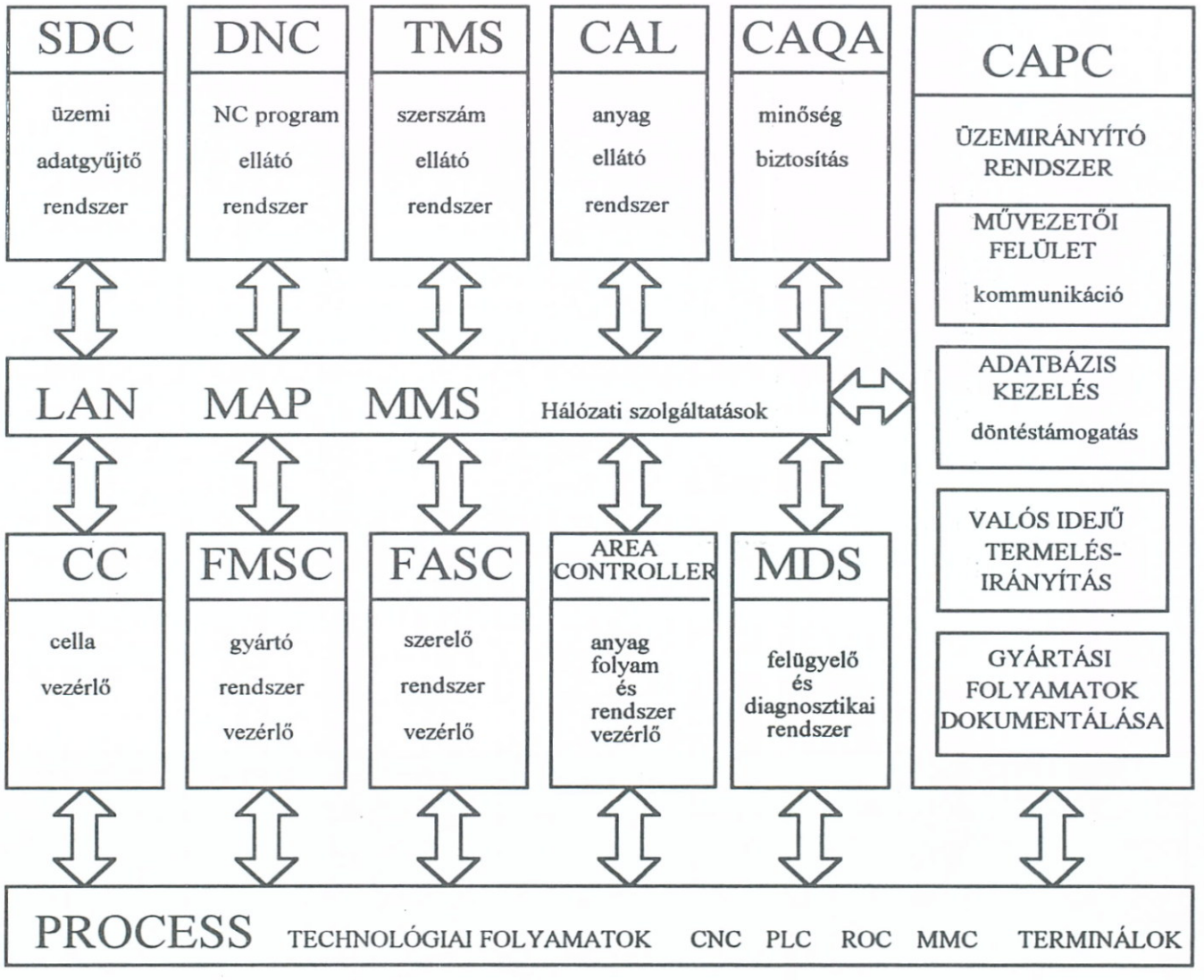
12. 17. ábra: CIM funkcionális modulok és ezek kapcsolatai

- ROC- Robot Control - robot irányítás
- CPC -Computerised Process Control.

Foglalkozzunk bővebben a CAM fogalommal.
CAM rendszerek funkcionális moduljait és kapcsolataikat a 12.18. ábrán vázoltuk.

Itt az eddig nem említett modulok a következők:

- TMS -Tool Management System - szerszámgazdálkodási rendszer
- SDC -Shop floor Data Collection - üzemi adat gyűjtés
- Cell Control - cella irányítás
- FMSC -FMS Control - FMS irányítás
- FASC- Flexible Assembly System Control - rugalmas szerelő rendszer irányítás
- MDS -Monitoring Diagnostic System - monitorizálási és diagnosztikai rendszer
- MMC -Measuring Machine Control - mérőgép irányítás
- Area Controller - szakterület irányító berendezés.



12. 18. ábra: CAM számítógéppel segített gyártás funkcionális felépítése

Nagyon fontos fogalom még az MMS — Manufacturing Message System — gyártórendszerekbeli üzenetközvetítő rendszer. Ez szabványos szolgáltatások gyűjteménye a gyártáshoz szükséges információcsere megvalósításához.
A fenti modulok kifejlesztése és rendszerbe szervezése nagy erőkkel folyik világszerte.

A számítógéppel segített gyártás (CAM) olyan számítógépes gyártásirányítási koncepciók, módszerek, eljárások és szolgáltatások együttese, amelyek a termelés operatív (végrehajtási) szintjéhez kapcsolódnak és a CIM gyártási alrendszerét valósítják meg.

Bármilyen diszkrét gyártási folyamat technológiai operációk időben sorosan és párhuzamosan zajló sorozata. Az operációkat elkülönült munkahelyeken (gépeken) készítik elő és valósítják meg. Az operációk típusát, számát, sorrendjét a gyártandó termék konstrukciós és technológiai specifikációja határozza meg a termeléstervezés megrendelése alapján. Minél rugalmasabb a gyártási folyamat, azaz minél kisebb a gyártás tömegszerűsége, és minél összetettebb a termék, annál több információt kell fajlagosan feldolgozni a gyártás során.

A számítógéppel segített gyártás (CAM) irányítási feladatai a következők:

1. Gyártási és termelési információk előállítása, kezelése, elosztása, összegyűjtése és feldolgozása.
2. A gyártási folyamatok modellezése, irányítása és ellenőrzése az operációk ütemezésével, indításával és azok státusának megfigyelésével.
3. Döntések meghozatala, szakértő tapasztalatok alapján a gyártási folyamat konfliktusainak feloldására.

Ezeket a feladatokat hierarchikusan felépített többszintű irányítási struktúrával valósíthatjuk meg.
A CAM ezen belül az üzemirányítás és az az alatti irányítási szinteket realizálja.
Ezek a következők:

1. Üzemirányítás
2. Gyártórendszer irányítás
3. Cellavezérlés
4. Munkahely irányítás
5. Folyamatirányítás

12.8. Gyártórendszerek programozása

A gyártórendszerek programozása két különböző fogalmat takar:

a) A gyártórendszer eszközeinek és az eszközök egymás közötti kapcsolatának leírását, topológiai adatok bevitelét, általános működési feltételek megadását, a lehetséges szállítási utak, robot mozgásszekvenciák programozását. (Ezt a programozást az installálást végző szakemberek végzik el a gyártórendszer üzembehelyezésekor).

b) A felhasználó által írt programok bevitelét, melyek az aktuális gyártási feladatokat tartalmazzák (alkatrész típus, darabszám, műveleti idők, műveleti sorrend stb).

A következőkben ez utóbbi értelemben használjuk a gyártórendszerek programozásának fogalmát. A programozás történhet:

- hagyományos módszerekkel (kézi ütemezéssel),
- részben automatikusan ill. interaktívan (taszkokra, részfeladatokra (bontással),
- teljesen automatikusan (csak a műveleti sorrend megadásával)

A gyártórendszerek vezérléseinek programozására magasszintű nyelveket alkalmaznak. A rendszervezérlő négy feladatcsoportot hajt végre:

- A rendelés felvétele
- A rendszerhez tartozó berendezések, cellák szekvenciális működésének vezérlése
- Eseményszimuláció grafikus animációval
- A rendszerműködés dokumentálása és értékelése

12.8.1. A rendelés felvétele

A rendelés felvétele lényegében a rendszer be- és kimeneti kapuját is megvalósító automatikus raktár feltöltése nyers munkadarabokkal és szerszámokkal, valamint a berendezések megfelelő programjának lehívása. A munkadarabokat és szerszámokat ún. szállítópalettákon tárolják, amelyeket a felrakógép helyezi el a megfelelő raktári rendszerbe. Általában a palettákat látják el azonosítókkal. A vezérlés figyelemmel kiséri a raktár állapotát, ismeri annak mindenkori térképét, így amikor a felrakógép a paletták raktáron belüli mozgatására tömör parancsot kap, vezérlése "tudja", hogy a megfelelő palettát honnan kell a szállító járműre, illetve a járműről a raktár melyik rekeszébe kell helyeznie. A rendelés felvétele után indulhat a rendszer működése. Mivel minden berendezésnek saját (NC, robot, PLC) vezérlése van, a rendszervezérlő a vezérlések működését indítja (inicializálja) a megfelelő sorrendben (szekvenciális működés), s ha szükséges feltételeket ír elő egy-egy berendezés megindítására: pl. várakozni kell, amíg az előző munkafázis befejezéséről nem kapott visszajelzést. A programnak tehát a gyártási sorrendnek megfelelő útvonalat és a kapcsolódó anyagkezelési eseményeket kell tartalmaznia.

12.8.2. A programnyelv

A gyártórendszer programozási nyelve függ a rendszer automatizáltsági és intelligencia szintjétől, a rendszer által felkínált interaktivitási lehetőségektől. A következőkben egy olyan Erdélyi Ferenc által kifejlesztett programozási nyelvet mutatunk be, amely megkívánja a programozótól, hogy a gyártási feladatot több közel önálló részfeladatra (taszkra) bontsa. A taszkok egymás közötti optimális összehangolását azonban nem

szükséges megadni, mert ezt az irányító szoftver automatikusan elvégzi, megkönnyítve a programozó munkáját.

A nyelv a programot utasítások sorozatával írja le. Az utasítások szavakból épülnek fel. A szavak szótári szavak, azonosítók és egész számok lehetnek.

Az utasítások típusai és felépítésük:

Mozgásutasítás (MOVE) szavainak sorrendje

- a mozgató berendezés azonosítója
- a mozgatandó paletta kiindulási helyének azonosítója
- a mozgatott paletta célpontjainak azonosítója
- a mozgatandó paletta azonosítója

Példa: a) F,R,K,A

Jelentése: Az F felrakógép az R raktárból a K kocsira helyezi az A jelű palettát.

b) R1, G1, G2

Jelentése: Az R1 robot a G1 gépről a G2 gépbe helyezi át a munkadarabot. (Ez utóbbi azonosítóját itt nem kell feltüntetni, mert korábban már kijelöltük).

Berendezés indítása (START):

- ST-NC, robotprogram stb. indítása
- a beindítandó berendezés azonosítója

Példa: ST, G1.

Jelentése: Induljon a G1 gépen a megmunkálás.

Várakozás (WAIT): A manipuláló berendezésnek (robot, szállítókocsi) meg kell várnia, míg a kapcsolódó berendezés (gép, munkaállomás) programja be nem fejeződik:

- W - várakozási parancs
- a bevárandó berendezés azonosítója

Példa: W, G1.

Jelentése: várni kell a G1 gépen futó program befejezésére

Munkadarab megfordítása a gépen robottal

- a robot azonositója
- a gép azonosítója
- F - forgatási parancs

Példa: R2, G2, F

Jelentése: Az R2 robot a G2 gépen fordítsa meg a rajta lévő munkadarabot.

Egy időben futó párhuzamos események programozása

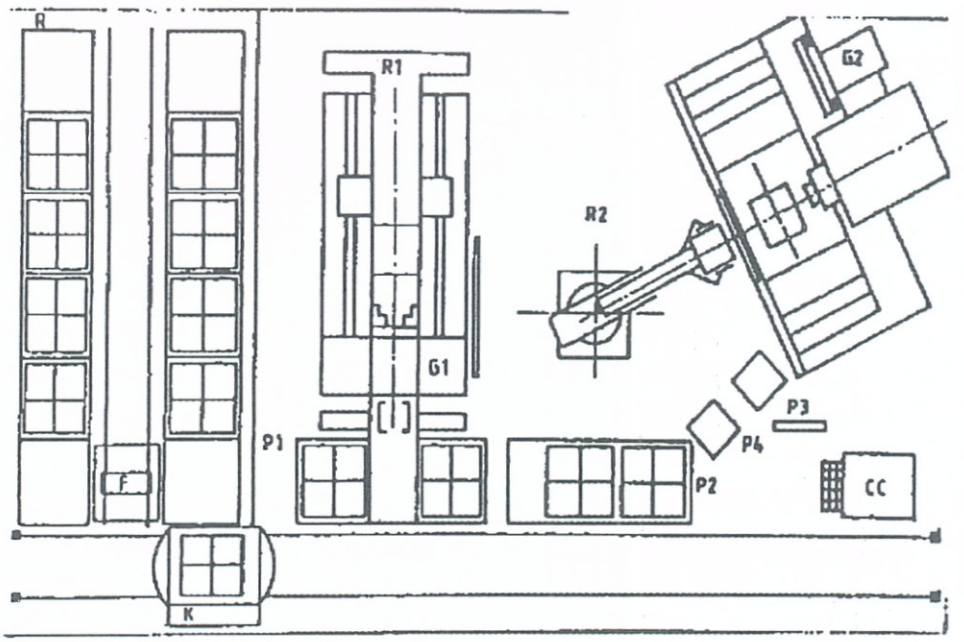
A gyártórendszerben több berendezés működik. Nyilvánvaló, hogy ha egymást nem zavarják, akkor ezek egyidejűleg is működhetnek. A rendszer programját ezért egyidőben futó részfeladatokra (taszk) kell bontani. A taszkok lehetséges számát az ütközések nélküli rendszerműködés határozza meg (egy gépbe egyszerre csak egy robot helyezhet munkadarabot).

A taszk felépítése:

- A taszk azonosítója
- INIC (taszk inicializálás)
- utasítások
- REPEAT (Ismétlés, az utasítássorozat ismételt végrehajtása, a taszk vége)

A taszknak zárt eseménysorozatot kell leírnia, azaz a taszk kezdetén és végén a részrendszernek azonos állapotban kell lenie.

Vizsgáljuk meg a fent kifejtetteket egy egyszerű gyártórendszer példáján



12.19. ábra: A programozandó gyártórendszer

A rendszer a következő részegységekből áll:

- CNC vezérlésű univerzális eszeterga (G1)
- CNC vezérlésű fúró-maró központ (G2)
- Felsőpályás kiszolgáló robot (R1)
- Hengerkoordináta-rendszerben működő 4 tengelyes kiszolgáló robot (R2)
- Palettatároló aktív puffer a G1-hez (P1)
- Palettatároló aktív puffer a G2-höz (P2)
- Mérő vagy segédművelet-végző állomás (P3)
- Ideiglenes tárolóhely (puffer) (P4)
- Palettaszállító robotkocsi (K)
- Magasraktári felrakógép (F)
- Cellavezérlő számítógép (CC)

Könnyen beláthatjuk, hogy a rendszer működését három taszkra bonthatjuk.

- Taszk 1: A raktár, a felrakógép és a robotkocsi együttműködése,

- Taszk 2: A P1 puffer, a felsőpályás R1 robot és a G1 eszterga együttes munkája,
- Taszk 3: Az R2 robot, a G1 eszterga, a G2 fúró-maró központ, a P2, P4 puffer és a P3 mérőállomás működését fogja össze.

Lássunk példákat az egyes taszkokra:

TASZK 1:

0. INIC	(Inicializálás)
1. F,R,K,A	(Felrakógép egy palettát a kocsira tesz)
2. K,R,P1	(A kocsi a palettát a cellába viszi)
3. K,P1, R	(A kocsi a kész palettát visszaviszi)
4. F,K,R	(A felrakógép a palettát visszateszi a helyére)
5. REPEAT	(Ismétlés)

TASZK 2:

0. INIC	(Inicializálás)
1. R1, P1, G1	(A robot betölti a nyers mdb-ot a P1 pufferből)
2. ST, G1	(Indul az NC program)
3. W, G1	(A robot a pr. végére vár)
4. R1, G1, P1	(A robot a kész darabot visszateszi a P1 pufferba)
5. REPEAT	(Ismétlés)

TASZK 2:

0. INIC	(Inicializálás)
1. R2, P2, G1	(A robot betölti a nyers mdb-ot a P2 pufferen lévő palettáról)
2. ST, G1	(Indul az 1. NC program)
3. W, G1	(A robot a program végére vár)
4. R2, G1, G2	(A darabot a robot áthelyezi)
5. ST, G2	(Indul a 2. NC program)
6. W, G2	(A robot a pr. végére vár)
7. R2, G2, F	(A robot megfordítja a darabot)
8. ST, G2	(Indul a 3. NC program)
9. W, G2	(A robot a pr. végére vár)
10. R2, G2, P3	(A robot áthelyezi a kész darabot)
11. ST, P3	(Indul a PLC vezérlésű mérés)
12. W, P3	(A robot a mérés végére vár)
13. R2, P3, P2	(A robot a kész darabot a P2 pufferben lévő palettára teszi)
14. REPEAT	(Ismétlés)

A rendszervezérlő általában leszimulálja a kidolgozott programot mielőtt a gyártórendszert megindítanánk és animálja is működését. A szimuláció eredményeként kiértékelhető a működés hatékonysága (ld. 12.19. ábrát) és ha szükséges, módosíthatják, javíthatják a programot, hogy a gyártórendszer képességeit minél teljesebben kihasználják.

12.9. Gyártórendszerek működésének szimulációja

Mint az előző pontból is látható volt, a gyártórendszerek szerkezete sok összetevőből áll. Ennek megfelelően, folyamataik összetettek és bonyolult kölcsönkapcsolatokban állnak egymással. Bonyolult folyamatok vizsgálatának egyik leghatékonyabb módszere a szimuláció. Ez igaz gyártórendszerek vizsgálatára is.
Valójában, az ismertetett, prioritási szabályokat alkalmazó, heurisztikus módszerek finomprogramozási feladatok megoldására, nem más mint diszkrét szimulációs eljárás. A folyamatok meghatározott állapotaikon (egy-egy homogén gépcsoport felszabadulása) döntéseket hozunk. Ezek a döntések meghatározzák a folyamat következő szakaszát. A párhuzamosan futó folyamat összetevők bármelyikének döntési pontja egy-egy új szakasz kezdetét eredményezi. Az időben előrehaladva, ilyen módon felépíthetőek a folyamatok jellemzői. A GANTT diagramokkal való ábrázolás, a szimuláció eredményeinek képi megjelentetése.

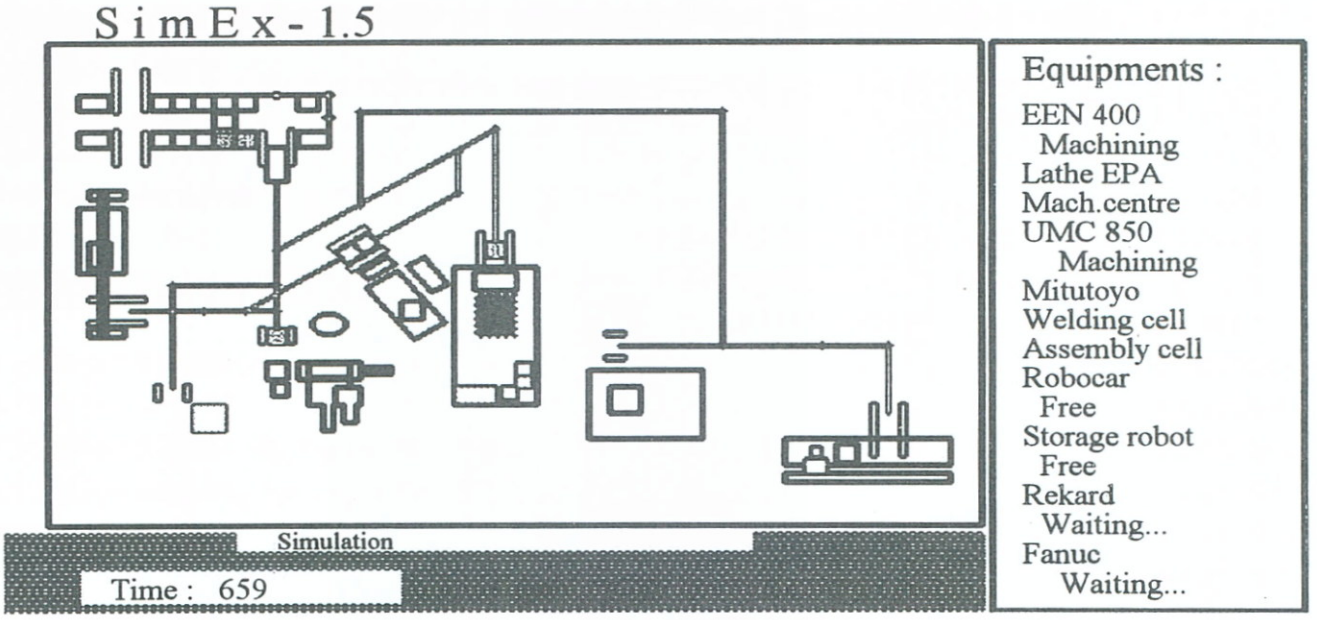
Az eddigiekben nem tértünk ki részletesen a szállítási műveletek, a szerszám, készülék, esetleges egyéb eszközök ütemezésének a problémáira. Ezek ütemezése teljesen hasonló módon oldható meg, mint a homogén gépcsoportoké. A prioritási szabályokon alapuló heurisztikus módszerek lehetővé teszik, hogy ezekre az eszközökre is felépítsük a terhelési, foglaltsági térképeket, például a GANTT diagramok formájában.

Nem alkalmasak a klasszikus eljárások az ütemezési feladatok megoldására amikor véletlenszerű, dinamikus, vagy nem modellezett ellentmondások (több gépcsoport igénye ugyanarra az eszközre, adott szállítási útvonalak megvalósíthatatlansága, ütközések, stb), szerepelnek a rendszer folyamataiban. Ilyenkor, a rendszer folyamatainak szimulációja nyújt megfelelő eszközt a feladatok megoldására.

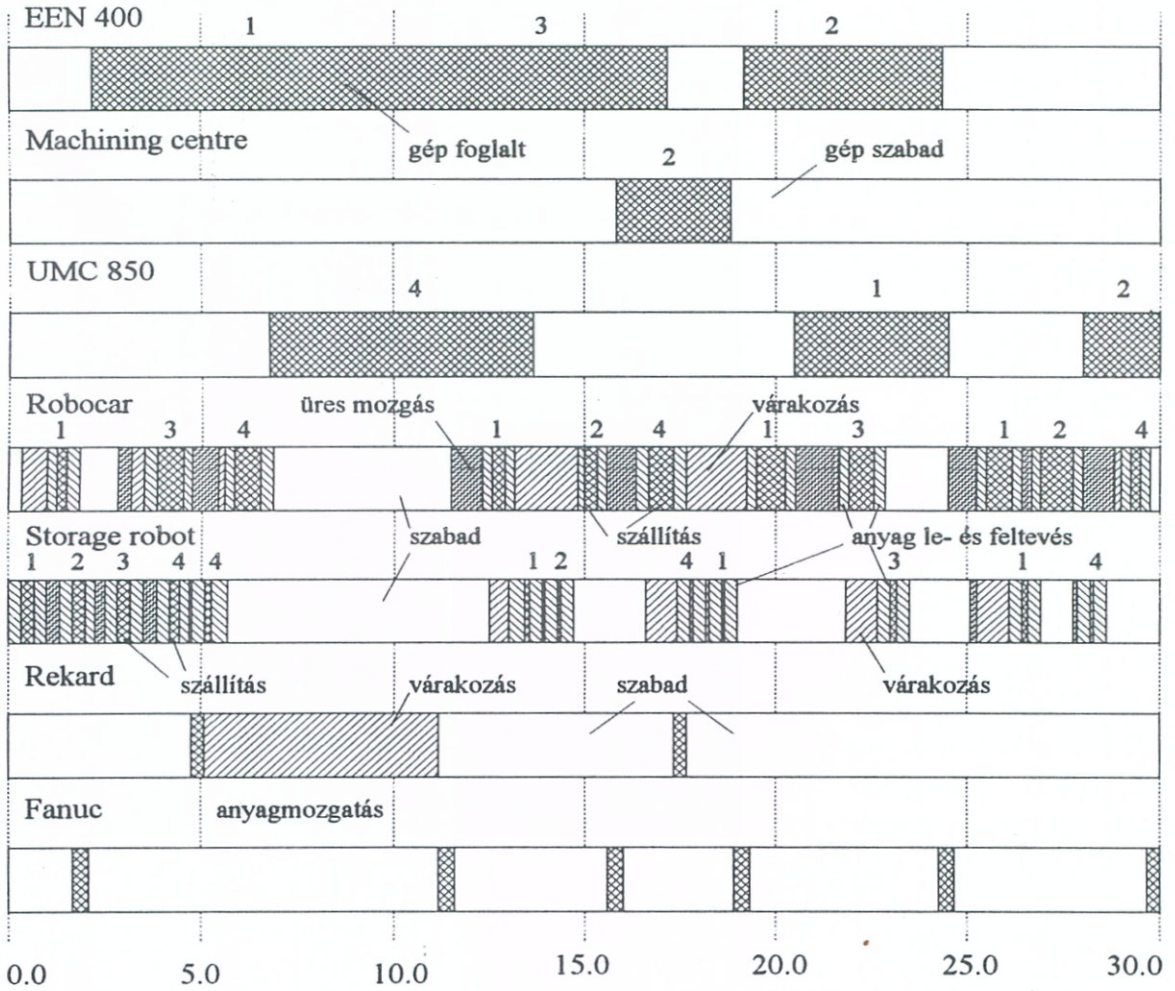
A gépipari rendszerek szimulációs módszerei alkalmasak sokkal összetettebb feladatok megoldására is, mint a homogén gépcsoportok fentebb leírt elvek szerinti finomprogramozása.
A rendszer szimulációra számos felhasználó orientált szimulációs rendszereket fejlesztettek ki.
Ezek közül megemlítjük a következőket:

GPSS (General Purpose Simulation System - általános célú szimulációs rendszer); SIMSCRIPT (Simulation Scripture - szimulációs forgatókönyv), SIMULA (Simulation Language - szimulációs nyelv), a SLAM és SIMAN - Pritsker és Pegden (Purdue Egyetem, USA) professzorok által javasolt - szimulációs nyelvek.

A szimulációs nyelvek elemei: az egyes objektumokat, ezek paramétereit, bementeit, kimeneteit leíró modulok (dinamikus folyamatokat jellemzők is); kapcsolataikat megteremtő programrészek; külső hatásokat, belső változásokat jellemző függvények (bemenő jelek képzése, véletlenszám generátorok, eloszlás függvények, statisztikai adat kezelés és feldolgozás, protokol képzés, stb). A szimulációhoz szorosan kapcsolódnak a CAD funkciók, grafikai, matematikai programcsomagok. A szimulációt fejlett információs infrastruktúra szolgálja ki. Az eredmények megjelenhetnek táblázatos, grafikus, vagy animációs formákban.
Leghatásosabb ezek együttes alkalmazása.



12. 20. ábra: A BME kísérleti FMS szimulációs rendszerek animációs ábrája



12. 21. ábra: BME kísérleti FMS szimulációs rendszerek által szolgáltatott GANTT diagramok

Az univerzális szimulációs nyelvek mellett számos egyedi programcsomagot is kifejlesztettek. Ezek egyik példája a BME kísérleti rugalmas gyártórendszer szimulációjára kifejlesztett SIMEX szimulációs nyelv. Ennek a rendszernek az animációs képsorozatából mutatunk be egyet a 12.20. ábrán és a rendszer által felépített GANTT diagram egy részletét a 12.21. ábrán

Felhasznált irodalom :

[1] Bertók Péter, Csurgai Gábor, Haidegger Géza: Mi az a MAP és hogyan tesz eleget az FMS (CIM) elvárásainak? MTA-SZTAKI 1986.október

[2] Erdélyi Ferenc: Szerszámgépek és diszkrét gyártási folyamatok számítógépes irányítása. Kandidátusi értekezés. 1993.

[3] Horváth Mátyás, Somló János: Forgácsoló megmunkálások optimálása és adaptív irányítása. Műszaki Könyvkiadó 1979.

[4] J.Kim, E.F.Fichter, K.H.Funk: Building an Expert System for FMS Scheduling USA -Japán Symp. on Flexible Automation. San Francisco 1992,

[5] Somló János (vezetésével szerkesztőkollektíva) Gépgyártástechnológiai folyamatok optimálása. OMFB tanulmány, 1980. február

[6] Somló János: Forgácsoló megmunkálások folyamatainak optimálási és irányítási problémái. Akadémiai doktori értekezés. Budapest, 1982

[7] J.Somló,T.Watanabe: Intelligent Scheduling of FMS. The Optimization Approach. USA-Japan Symposium on Flexible Automation. San Francisco 1992.

[8] Tóth Tibor: Automatizált műszaki tervezés a gépgyártástechnológiában. Tankönyvkiadó, Budapest 1990.

[9] Hitomi K: Manufacturing Systems Engineering
Taylor and Francis. London, 1979.

[10] Rembold U.,Blume C.,Dillman R.,: Computer Integrated Manufacturing Technology and Systems. Marcel Dekker, New York 1985.

[11] Rembold U., Nuaji B.O., Storr A.,: Computer Integrated Manufacturing and Engineering Addison-Wesley 1993.

[12] Perovszkaja E.I., Fetyiszov V.A.,: Automatizácija gibkih szisztem
Izd.Len.Univ. 1989.

TÁRGYSZAVAK JEGYZÉKE

A

Abbe - elv, 103
abrazív megmunkálás, 220; 227
AC, 3
acélderékszög, 105
adattömörítés, 281; 285
akusztikus emisszio, 279
alak és mérettartósság, 83
alakos idomszer, 99
alapmozdulat, 328
alkatrész, 8
alkatrész osztályozási rendszer, 337
alprogramok, 140
analitikus modellezés, 286
archimédeszi spirál, 76
aritmetikai funkciók, 141
aritmetikai műveletek, 141
asztalok, 36
automatikus szerszámváltás, 93
az ember-gép kapcsolat eszközei, 353
az esztergáló központ, 47

Á

ágy, vagy állványszerkezet, 36

B

báb, 77
backpropagation, 291
bázis, 70; 71
bázisalkatrész, 318
bázisfelületek, 23
bázisváltási hiba, 23
beállítás nélküli szerszámbefogás, 94
beégés, 229
belső nyelvek, 354
beszabályozás, 315
bevonatos szerszámanyagok, 87
bolygóelektródos szikraforgácsolás, 243
bórkarbid, 223

C

CAD, 2
CAM, 3
CAPP, 2
CAQ, 2
CBN, 86
cermet, 85
CIM, 2
CLDATA, 354
CNC, 1
csoporttechnológia, 337
csökkentő tag, 306
csúcsamplitudó, 281
csúcsnélküli köszörűlés, 232
csúcssugár, 89
csukló interpoláció, 162
csukló középpont, 34

D

deionizálódás, 240
Denavit-Hartenberg-transzformációs mátrixsz, 32
dielektrikum, 241

direktrix, 20
dörzsköszörűlés, 233
drótvázas modell, 16

E

effektor, 30
egyedi gyártás, 9
egyenes interpoláció, 162
egyesítő eljárások, 312
egyetemes eszterga, 44
elektród, 239
elektrokémiai megmunkálás, 247
elektrokorund, 223
elektrolitikus oldás, 248
elektrolízis, 248
elektromechanikus programvezérlésű esztergá, 46
elektronikus kinematikai lánc, 36
elemekből összeállítható készülék, 80
elméleti rétegvastagság, 227
előgyártmány, 8; 24
eltömődés, 231
EÖK, 80
eszterga, 42
esztergálási ciklusok, 150
esztergáló cella, 47
esztergatokmány, 76

É

élgeometria, 88
érzékelő, 275

F

Fellow eljárás, 303
felügyeleti rendszer, 274
felületek leírása, 19
felületelem, 27
fényesítés, 234
finomtapintó, 102
fix méretű kompenzátorok, 310
FMC, 2
FMS, 2
fogaskerek, 303
fogköszörűlés, 237
fokozat, 28; 303
fokozatnélküli hajtómű, 30
fokozatszám, 30
folyadéksugaras vágás, 252
fordulatszám ábrá, 29
fordulatszám szabályozhatóság, 30
forgácsoló betét, 93
forgácsoló szerszám, 93
forgácsoló szerszámgép, 27
forgácsolóképesség, 231
forgácsolószerszám, 81
forgóasztal, 57
formázás, 12
főmozgás, 12
főorsó, 79
főprogramok, 140
frame, 283
furatköszörűlés, 236
fúró-maró mű, 50
fúrógép, 50; 54
Fuzzy Logika, 287

G

generálás, 13
generatív szintézis módszer, 343
generátor, 20
gépen kívüli beállítás, 93
gépi koordináta-rendszer, 126
gépsatu, 77
gyártmánycsaládfa, 319
gyémánt, 86; 224
gyorsacélok, 83

H

hajtómű, 28
határmérő idomszer, 98

határoló központosító ülék, 74
hátlap, 88
hatpont-szabály, 70
házszerű alkatrészek gyártása, 301
házszerű alkatrészek műveleti sorrendje, 301
Heidenreich-Harbeck, Oerlikon, Gleason, Klingelnberg, 305
helyzetmeghatározás, 70; 72; 77; 78
homloklap, 88
hónolás, 233
hosszmarógép, 53
hozzáadás, 24
hősokk, 229
huzalos szikraforgácsolás, 243

I

Idomszer, 96
idomszer, 95
ikerorsós gép, 49
illesztőprogram, 336
IMS, 3
integrált technológiai tervezőrendszerek, 346
intelligens megmunkálás, 279
intelligens szenzor, 280
ionsugaras megmunkálás, 239
ipari robot, 27; 58; 315

J

jelkondicionálás, 280

K

kapcsolódó felület, 23
keményfém, 84
kémiai passzivitás, 82
kerámiák, 85
kétkomponenses sugár, 253
kinematikai vázlat, 29
kiszikráztatás, 227
kiürítési kisülés, 241
kódgyűrű, 94
kompenzálási érték, 310
kompenzálási hozzáadás, 309
kompenzáló tag, 309
komplex idomszer, 99
konstansok, 186
konzolos marógép, 52
koordináta rendszerek, 162
koordinátarendszer transzformáció, 127
kopásállóság,, 82
korrekciók, 127
köbös bórnitrid, 86; 224
körinterpoláció, 162
köszörűkorong keménység, 225
köszörűlési hömérséklet, 228
köszörűszerszámok szabályozása, 231
kötéskeménység, 225
kötőanyag térfogat, 225
központosítás, 73; 76
központosító kúp, 74
kritikus hőmérséklet, 82

L

lánctag, 306
lefejtés, 13
lépcsőstengely műveleti sorrend, 298
leppelés, 234
lézersugaras megmunkálás, 239; 244
lézersugaras vágás, 246
libella, 105
logaritmikus funkciók, 142
logika, 282
logikai modellezés, 286
logikai műveletek, 141
lökésionizálás, 240

M

Maag eljárás, 303

manipulátor, 27; 184
maradó feszültségek, 230
marási ciklusok, 149
marógép, 50
másoló marógép, 53
megfogó szerkezet, 41
megmunkálandó felület, 23
megmunkálhatóság, 83
megmunkáló központ, 50; 55
megy oldali idomszer, 98
megy- nem megy oldali idomszer, 99
melegkeménység, 82
mellékmozgás, 12
memóriaelem, 94
menetköszörűlés, 237
mérce, 95
meredek kúp, 79
mérési ciklusok, 154
méretlánc, 305; 306
méretláncok, 23
mérőgép, 104
mérőhasáb, 95
mérőóra, 102
mérőprojektor, 103
mesterséges intelligencia módszerek, 289
mikrométer, 102
mikroszkóp, **103**
minőségi jel, 225
MIS, 2
MK, 2
MKGSI rendszer, 11
modell, 293
morzsolódó szerszámkopás, 230
mozdulat, 10
mozdulatelem, 10
mozgásrendszer, 27
mozgásterv, 336
mozgatás, 186
mozgó kompenzátor, 310
MRP, 3
MTM módszer, 327
munkadarab, 7
munkadarab koordináta-rendszer, 127
munkadarab-befogó készülék, 71
munkadarab-kezelés, 312
müködő felület, 23
művelet, 10
műveletelem, 10
műveletelemek tervezése, 336
műveleti sorrend, 300
műveleti utasítás, 336
műveletterv, 336
műveletterv ezés, 335

N

NC, 2
nem analitikus görbék, 17
nem megy oldali idomszer, 98
neurális háló, 291
normaidő, 9
normál idomszer, 98
normál szerszámkopás, 230
normális eloszlás, 308
növelő tag, 306
nullpont, 127
nullponteltolás, 127
nyomásfokozás elve, 252

O

orsók, 36
osztófej, 52

Ö

önélezés, 230
összehasonlító műveletek, 141
öttengelyes marás, 348
ötvözött szerszámacélok, 83

P

palástköszörűlés, 232
pályagenerálás, 336

paraméteres programozás, 140
parametrikus optimálás, 5
Pfauter eljárás, 303
piezoelektromos, 278
PKD, 86
pneumatikus hosszm. eszköz, 102
polikristályos gyémánt, 86
polírozás, 234
pontmintázatok, 147
pontossági, 303
porkohászat, 85
porozitás, 225
portál-marógép, 53
pórusok, 225
pórustérfogat, 225
PPS, 2
prizma, 73; 78
prizmát, 73
próbaforgácsolás, 93
production rule, 282
profilozás, 13
program szerkezete, 140
programnyelv, 130
programozott pont, 128
programvezérlés, 45

R

ráhagyás, 24
ráhagyás halmozódás, 227
relaxációs generátor, 241
rende-zettségi fok, 313
részleges cserélhetőség, 308
rétegmaradvány, 227
revolveresztergá, 44
rezgés, 279
rezgő-adagoló, 314
RGYC, 2
RGYR, 2
robot munkateré, 30
robotkoordinátá, 32
robotnyelv, 185
robotprogramozás, 161
robotvezérlés, 162
rögzítés, 75
rögzített cikilusok, 144
rövid központosító csap, 74

S

segédorsós gép, 49
síkköszörűlés, 232
sima idomszer, 99
sorozatgyártást, 9
sorrendtervezés, 334
strukturális modellezés, 286
struktúrális optimálás, 5
süllyesztéses szikraforgácsolás, 243
szabad felület, 23
szabadságfok, 70; 77
szakasz, 11
szakértői rendszer, 345
szánok, 36
szegnyereg, 77
szekrényes alkatrész, 50
szemantikus háló, 283
szemcseméret, 221
szemcsetérfogat, 225
szenzor, 275
szerelési családfa, 322
szerelési egység, 319
szerelési idő, 327
szerelési rendszer, 316
szerelési sorrend, 323
szerelő munkahely, 316
szerelőállomás, 319
szerkezeti képlet, 225
szerszám koordináta-rendszer, 127
szerszámadapter, 93
szerszámanyagok, 82
szerszámazonosítás, 82; 94
szerszámbefogó, 93
szerszámbefogó készülék, 79
szerszámcím, 94
szerszámélezés, 236
szerszámelhasználódás, 230

szerszámellátás, 91
szerszámkártyá, 355
szerszámkinyulás, 93
szerszámmarógép, 53
szerszámmérés, 156
szerszámmozgások tervezése, 347
szerszámrendszerek, 91
szerszámtartó, 93
szerszámtörés, 278
szikraforgácsolás, 239
szikraforgácsoló fúrás, 243
szilíciumkarbid, 223
szimuláció, 293
szinuszvonalzó, 105
SzIT, 2
szívósság, 82
szoborfelület, 21
szorítás, 75; 79
szorítási felület, 23
szögmérôhasáb készlet, 105
szuperkemény szerszámanyag, 85
szuperkemény szerszámanyagok, 224

T

tagsági függvény, 288
támasz, 72
tapintó, 157
tárcím, 94
tárcsák, 300
tárcsaszerű alkatrészek gyártása, 300
Taylor elv, 98
TEACH-IN, 187
teljes cserélhetőség, 307
termék, 8
termikus kifáradás, 82
testmodell, 16
típustechnológiá, 336
titán-karbid, 87
titán-nitrid, 87
tolómérce, 102
tömeggyártás, 9
transzlációs felület, 20
trigonometrikus funkciók, 142
tudás, 281
tudásábrázolás, 282
tükrösítés, 234

U

univerzális marógép, 52
utólagos illesztés, 309

Ü

ülék, 72
ütemidő, 9

V

v, 12
v-d diagram, 29
válogató párosítás, 310
váltólapka, 93
változók, 140; 186
variáns módszer, 342
variogeneratív szintézis módszer, 344
végrehajtási utasítások, 142
vezérelt impulzusgenerátor, 241
világkoordinátá, 32
vonalfelület, 20
vonalkód, 94

Z

zárótag, 306

HÍD A SZÁMÍTÁSTECHNIKÁHOZ....

az LSI

szak- és tankönyvei

80386/80486 II.	Dr. Kovács Magda	1062 Ft
A számítógépes grafika	Nagy-Perjés	892 Ft
Bevezetés a közigazgatási informatikába	Mezey Gyula-Mezey Gyuláné	490 Ft
Bevezetés az operációkutatásba	Hillier-Lieberman	2321 Ft
EXCEL 7 Windows alatt	Pétery Kristóf	1500 Ft
Fox Pro program gyakorlatok	Vágó Árpád	750 Ft
INTERNET CD melléklettel	Hargittai-Kaszanyiczki	1270 Ft
Mikroelektronikai értelmező szótár I-II.	Dr. Kovács Magda	1151 Ft
MULTIMÉDIA	Tóth Dezső	700 Ft
OS/2	Móricz Attila	1339 Ft
OS/2 Warp 3 magyar nyelvű változathoz	Móricz Attila	1446 Ft
PC Vírusok	Tóth Szabolcs	680 Ft
PENTIUM I.	Agárdi-Hadi	1071 Ft
PENTIUM II.	Agárdi-Hadi	1300 Ft
Sokoldalú szövegszerkesztő WORD 6.0 /a magyar nyelvű programhoz/	Kunos-Sőrés	1335 Ft
Sokoldalú szövegszerkesztő WORD 6.0 /az angol nyelvű programhoz/	Kunos-Sőrés	1335 Ft
Windows 95 Micrósoft és NetWare hálózatokban	Móricz Attila	1490 Ft
WORDBASIC makrónyelv	Móricz Attila	1642 Ft
WORD 7.0 WINDOWS 95 alatt (magyar nyelvű változat)	Pétery Kristóf	1650 Ft
Egyszerűen a vállalkozásról	Dr. Pálinkás Jenő	1113 Ft
Útban a felsőbb matematikához	Dr. Kósa András	2400 Ft
Egy könyvben a középiskolai matematika	Dr. Korányi Erzsébet	1245 Ft
PowerPoint 7.0	Pétery Kristóf	1294 Ft
Visual FoxPro 3.0	Vágó Árpád	1300 Ft

Áraink az ÁFÁ-T nem tartalmazzák

LSI Oktatóközpont Alapítvány
1037 Budapest, Bécsi út 324.
Tel: 250-60-13
Fax: 250-60-22

ISBN 963-577-185-1

9 789635 771851