



SZÉCHENYI 2020

SZÁMÍTÓGÉPPEL SEGÍTETT GYÁRTÁS (CAM)

Készítette:

Dr. Pálinkás Sándor
Balogh Gábor
Gyönyörű Attila

Készült: Debreceni Egyetem Műszaki Kar, Debrecen

Terjedelem: 159 oldal (5 ív)

Kézirat lezárva: 2015. augusztus 15.

A tananyag elkészítését a Munkaerő-piaci igényeknek megfelelő, gyakorlatorientált képzések, szolgáltatások a Debreceni Egyetemen Élelmiszeripar, Gépészet, Informatika, Turisztika és Vendéglátás területen (Munkaalapú tudás a Debreceni Egyetem oktatásában) TÁMOP-4.1.1.F-13/1-2013-0004 számú projekt támogatta. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

Lektor:

Dr. Bodzás Sándor

ISBN: 978-963-473-911-1

SZÉCHENYI 2020



MAGYARORSZÁG
KORMÁNYA

Európai Unió
Európai Szociális
Alap



BEFEKTETÉS A JÖVŐBE



TARTALOMJEGYZÉK

TARTALOMJEGYZÉK	2
TÁBLÁZATOK JEGYZÉKE	5
ÁBRÁK JEGYZÉKE	6
1 BEVEZETÉS	11
2 A CAM KIALAKULÁSA, FEJLŐDÉSÉNEK TÖRTÉNETE	13
2.1 Esztergagépek fejlődéstörténete	13
2.2 CAM fejlődésének története	20
2.3 A CAD/CAM Integráció irányai	21
2.3.1 Integráció felfelé	21
2.3.2 Integráció lefelé	21
2.4 CAD rendszerek integrációja más rendszerekbe	22
2.5 Alkalmazások	22
2.6 Az integráció szintjei	22
2.7 Specializált tervezői modulok	24
2.8 Általános célú modulok	27
2.9 Fotó realiztikus terméktervezés	27
2.10 Lemezalakító sorozatszám tervező modul – ipari példa [9]	28
2.11 Különleges feladatok megoldása	33
2.12 Az integráció jövője	35
3 A FORGÁCSOLÁS GYÁRTÁSTECHNOLÓGIAI ALAPJAI	36
3.1 Alapfogalmak	36
3.1.1 Forgácsolás mozgásviszonyai [10]	37
3.1.2 Forgácsolási ráhagyás [13, 14]	39
3.1.3 Forgácskeresztmetszet	44
3.1.4 Forgácsoló szerszámok élgeometriája [16-21]	46



3.1.5	Forgácsképződés mechanizmusa [24]	56
3.1.6	Forgácsoló erő	58
3.1.7	Forgácsoló nyomaték	61
3.1.8	Forgácsoló teljesítmény	61
3.1.9	Forgácsoló szerszámok [10]	61
3.1.10	Készülékek [10]	64
4	A CAM MÓDSZERTANA, ALKALMAZÁSÁNAK MÓDJAI	65
4.1	CNC gépek típusai	66
4.1.1	CNC gépek kialakítása	66
4.1.2	Eszköz, szerszám és darabcsere	67
4.1.3	Koordináta rendszer	68
4.1.4	CNC gépek típusai	69
4.2	A CNC gépek működése, vezérlése	76
4.3	A CAM módszertana	82
4.4	Mechanikai elemzés [29]	83
4.5	Adatátviteli lehetőségek, Parametrikus modellezés	88
4.5.1	Parametrikus modellkészítés - Példa	89
4.5.2	Példa megszerkesztése	89
5	AZ EDGECAM WORKFLOW RENDSZER BEMUTATÁSA	99
6	CAM GYAKORLATI ALKALMAZÁSA – IPARI PÉLDÁK	105
6.1	Tengelycsonk esztergálása automatikus CAM programozással	105
6.1.1	A megmunkálandó alkatrész betöltése	105
6.1.2	Megmunkálás beállítása	106
6.1.3	Alaksajátosság keresés	108
6.1.4	Megmunkálás programozása	110
6.1.5	Szimuláció és NC program generálása	113
6.2	Kovácsszerszám formarészének nagyolása manuális CAM programozással	115
6.2.1	A megmunkálandó alkatrész betöltése	115
6.2.2	Megmunkálás beállítása	116
6.2.3	Alaksajátosság keresés	118
6.2.4	Megmunkálás programozása	119
6.2.5	Szimuláció és NC program generálása	134
6.3	Kovácsszerszám megfogó részének nagyolása fél-automatikus CAM programozással	136
6.3.1	A megmunkálandó alkatrész betöltése	136
6.3.2	Megmunkálás beállítása	137



6.3.3	Alaksajátosság keresés	138
6.3.4	Megmunkálás programozása	139
6.3.5	Szimuláció és NC program generálása	142
6.4	Kovácsszerszám megfogó részének simítása automatikusan	143
6.4.1	A megmunkálandó alkatrész betöltése	143
6.4.2	Megmunkálás beállítása	143
6.4.3	Alaksajátosság keresés	144
6.4.4	Megmunkálás programozása	145
6.4.5	Szimuláció és NC program generálása	147
6.5	Kovácsszerszám formarészének manuális simítása	147
6.6	További szerszámpályák és lehetőségek	147
7	KOMMUNIKÁCIÓS CSATORNÁK, AZ OPTIMALIZÁLÁS LEHETŐSÉGEI [31]	148
7.1	Az AutoForm-Unigraphics (AF-UG) interfész	148
7.2	A UG-AF interfész modul integrálása	149
7.3	Alkatrészek képlékenyalakításának végesselemes szimulációja	150
7.4	A referencia felület importálása	152
8	AZ ELJÁRÁS TOVÁBBI FEJLŐDÉSÉNEK LEHETŐSÉGEI	155
	FELHASZNÁLT SZAKIRODALOM	158



TÁBLÁZATOK JEGYZÉKE

3.1. táblázat: Forgácsolószerszámok csoportosítása	46
4.1. táblázat: ISO kódok.....	78
4.2. táblázat: Blokkon belüli parancsok.....	80
4.3. táblázat: G kódok.....	80
4.4. táblázat: M kódok.....	81
4.5. táblázat: Blokkok a CNC programban.....	81



ÁBRÁK JEGYZÉKE

1.1. ábra: Optikai módosítások hatása a gyártószerszámokra.....	11
2.1. ábra: Kódex illusztrációk az első íj- és lábbal hajtott esztergákról.....	13
2.2. ábra: Leonardo Da Vinci rajza egy esztergagépről – kódex illusztráció	14
2.3. ábra: Lendkerekes esztergagép.....	15
2.4. ábra: Eszterga transzmissziós hajtással	16
2.5. ábra: Eszterga egyedi meghajtással	16
2.7. ábra: Eszterga az 1960-as évekből.....	17
2.8. ábra: NC vezérlésű eszterga az 1970-es évekből.....	18
2.9. ábra: CNC eszterga az 1980-as évekből	18
2.10. ábra: CNC eszterga az 1990-es évekből	19
2.11. ábra: Mai modern CNC berendezés	19
2.12. ábra: Grafikus kernel	22
2.13. ábra: CAD-FE integráció	23
2.15. ábra: Szerszámház katalógusból választva - képlékenyalakító szakmodul	24
2.16. ábra: Kábelelrendezés tervezése szakmodullal	25
2.17. ábra: Mechanikai terhelés szimulációja.....	26
2.18. ábra: Konceptióból 3D terv.....	26
2.19. ábra: Fotó realiztikus kép.....	27
2.20. ábra: Az alkatrész kialakításának folyamata.....	28
2.21. ábra: Lemezterv.....	29
2.22. ábra: A leeső anyagrész felosztása	29
2.23. ábra: Sávterv.....	30
2.24. ábra: A lefuttatott szimuláció eredménye.....	31
2.25. ábra: Erőszükséglet, nyomásközéppont számítása	31
2.26. ábra: Szerszámház definiálása	32
2.27. ábra: A szerszám aktív elemei.....	32
2.28. ábra: Felső és alsó szerszámfél a sávtervvel	33
2.29. ábra: Modellezés beállításai	33
2.30. ábra: mélyhúzott lemez, és annak terítéke	34
3.1. ábra: A forgácsolás felületei.....	37
3.2. ábra: Mozgásviszonyok esztergálás esetén	37
3.3. ábra: A teljes ráhagyás alakulása külső hengeres felületen.....	39
3.4. ábra: A teljes ráhagyás alakulása síkfelületen	40
3.5. ábra: Az előző műveletből „örökölt” hibák	42
3.6. ábra: A műveleti ráhagyás megállapításának vázlata	43
3.7. ábra: Az elméleti és valóságos forgácskeresztmetszet esztergáláskor	44
3.9. ábra: A dolgozó rész elemei.....	47
3.10. ábra: Három részből álló forgácsoló szerszám	47
3.11. ábra: A szerszám meghatározó rendszer síkjai koordináta síkrendszerben	48
3.12. ábra: A szerszám meghatározó rendszer síkjai ortogonál síkrendszerben	49
3.13. ábra: A működő meghatározó rendszer síkjai koordináta síkrendszerben	50
3.14. ábra: A működő meghatározó rendszer síkjai ortogonál síkrendszerben	50
3.15. ábra: A normál szerszámszög rendszer	52
3.16. ábra: Az ortogonál szerszámszög rendszer	52
3.17. ábra: A koordináta szerszámszög rendszer	53



3.18. ábra: A geometriai szerszámszög rendszer	54
3.19. ábra: Forrasztott keményfémlapkás esztergakések külső felület megmunkálására ...	55
3.20. ábra: Forrasztott keményfémlapkás esztergakések belső felület megmunkálására ...	55
3.21. ábra: Forgácsleválás rideg anyag esetén	56
3.22. ábra: Forgácsleválás szívós anyag esetén	57
3.23. ábra: Forgácstípusok.....	57
3.24. ábra: Élratét képződése.....	58
3.25. ábra: A forgácsoló erő összetevőkre történő bontása DIN 6584 szabvány szerint.....	59
3.26. ábra: A forgácsoló erő összetevői	59
4.1. ábra: Ipari tömegtermelés.....	65
4.2. ábra: CNC gép	65
4.3. ábra: Az útmérő rendszer és a fotoelektronikus érzékelő	67
4.4. ábra: Robotkar a munkadarab cseréjéhez.....	67
4.5. ábra: Jobb kéz szabály	68
4.6. ábra: Forgástengelyek megadása	68
4.7. ábra: Fúrási mélység kompenzációja	69
4.8. ábra: Két- és három tengelyes CNC esztergagép	70
4.9. ábra: 5 tengelyes CNC marógépek Horizontális és Vertikális kialakításban	70
4.10. ábra: CNC megmunkáló központok	71
4.11. ábra: Szerszámtár, automatizált szerszámtár töltés	71
4.12. ábra: CNC Présgép, munkadarabok.....	72
4.13. ábra: CNC lemezolló	72
4.14. ábra: Ponthegeztés az autóiiparban	73
4.15. ábra: CNC szikraforgácsoló berendezés, késztermékek.....	73
4.16. ábra: CNC elektronsugaras berendezés	74
4.17. ábra: Lézeres CNC vágógép, késztermékek.....	75
4.18. ábra: A mérőfej és tapintó elvi ábrája és a mérőgép	75
4.19. ábra: CNC gépek működése.....	76
4.20. ábra: CNC program papírszalagon	77
4.21. ábra: CNC program felépítése	79
4.22. ábra: A CAD CAM integrált gyártórendszer elvi ábrája	82
4.23. ábra: Végeselemeken alapuló modellezés és elemzés lépései	84
4.24. ábra: A számításhoz generált háló héjszerkezete	85
4.25. ábra: A számításhoz generált háló testre	85
4.26. ábra: A feszültségek grafikus és táblázatos megjelenítése	86
4.27. ábra: Összetett alkatrész nyomaték- és fluxus elemzése	87
4.28. ábra: A tervezés folyamatábrája.....	88
4.29. ábra: Sketch funkció	89
4.30. ábra: Szerkesztési sík	90
4.31. ábra: Téglalap rajzolása	90
4.32. ábra: Méretezett téglalap	91
4.33. ábra: Lekerekítés elkészítése	91
4.34. ábra: Extrudálási paraméter beállításai	92
4.35. ábra: Extrude parancs paramétereit, és eredménye	92
4.36. ábra: Sík megadása	93
4.37. ábra: 1. szerkesztési lépés	93



4.38. ábra: 2. szerkesztési lépés	94
4.39. ábra: 3. szerkesztési lépés	94
4.40. ábra: Extrudálás és boolean művelet egy lépésben	95
4.41. ábra: Élek lekerekítése	95
4.42. ábra: Az élek lekerekítési műveletének eredménye	96
4.43. ábra: Szerkesztési sík megadása	96
4.44. ábra: Segédvonal	97
4.45. ábra: A kör elkészítése	97
4.46. ábra: Extrudálási paraméterek és a végeredmény	98
4.47. ábra: Parametrizált lemezmodell készítése	98
5.1 ábra: Edgcam folyamat	99
5.2 ábra: Hagyományos kiegészítő eszközök	101
5.3 ábra: Workflow kiegészítő eszközök	102
6.1 ábra: Alkatrész beállítás esztergáláshoz az Edgcam Workflow rendszerben	105
6.2 ábra: Előgyártmány illesztése	106
6.3 ábra: Tokmányválasztás	107
6.4 ábra: Esztergáló program készítése	108
6.5 ábra: Alaksajátosság kereső esztergálási beállításai	109
6.6 ábra: Alaksajátosság kereső marási beállításai	110
6.7 ábra: Alaksajátosság keresés eredménye	110
6.8 ábra: Tervezőtábla megnyitása	111
6.9 ábra: Elkészül elemek a tervezőtáblán	111
6.10 ábra: Automatikusan generált esztergáló szerszám pályák	112
6.11 ábra: A menetesztergálás szerszámának módosítása	112
6.12 ábra: Szerszámkészlet ellenőrzése	113
6.13 ábra: CNC program generálás	113
6.14 ábra: CNC program generálás	114
6.15 ábra: Munka jelentések	114
6.16 ábra: Alkatrész beállítás az Edgcam Workflow rendszerben	115
6.17 ábra: Előgyártmány illesztése	116
6.18 ábra: Maró program készítése	117
6.19 ábra: Alaksajátosság kereső	118
6.20 ábra: Alaksajátosság keresés eredménye	119
6.21 ábra: Síkmarás művelet beállításai	121
6.22 ábra: Síkmaró szerszám pályája	121
6.23 ábra: Nagyolás művelet beállításai	122
6.24 ábra: Nagyoló szerszám pályája és a szimuláció eredménye	123
6.25 ábra: Maradéknagyolás beállításai	123
6.26 ábra: Maradéknagyoló szerszám pályája és a szimuláció eredménye	124
6.27 ábra: Profilozás művelet beállításai	125
6.28 ábra: Profilozás művelet másolása és szerkesztése	125
6.29 ábra: Profilozás művelet beállításai	126
6.30 ábra: Formaüreg profilozó művelet eredménye	126
6.31 ábra: Profilozás ciklus szerkesztése	127
6.32 ábra: Profilozás ciklusban módosítandó paraméterek	127
6.33 ábra: Mozgás szerszámcsere pozícióba	128



6.34 ábra: Szerszámválasztás	129
6.35 ábra: Simítás állandó érdességmagassággal pálya beállításai	129
6.36 ábra: Befoglaló határ kiválasztása	130
6.37 ábra: Simítás állandó érdességmagassággal	131
6.38 ábra: Fúrás művelet beállításai.....	132
6.39 ábra: Süllyedési és Kiemelési pont módosítása	132
6.40 ábra: Gyors eredmény szimuláció.....	133
6.41 ábra: Marószerszám szerkesztése.....	134
6.42 ábra: CNC program generálás	134
6.43 ábra: Munka jelentések	135
6.44 ábra: Dinamikus nullpontkészítés a KKR mutató mozgatásával.....	136
6.45 ábra: Nullpont áthelyezése	137
6.46 ábra: Maró program készítése.....	138
6.47 ábra: Alaksajátosság kereső	138
6.48 ábra: Nagyolás művelet szerszám pályája	140
6.49 ábra: Köztes fogások beállítása nagyolóhoz.....	141
6.50 ábra: Automatikusan generált nagyoló pálya.....	141
6.51 ábra: Köztes fogásokkal bővített hullámnagyoló pálya.....	142
6.52 ábra: STL mentése	142
6.53 ábra: Előgyártmány beszúrása	143
6.54 ábra: Alaksajátosság keresés	144
6.55 ábra: Tervezőtábla megnyitása	145
6.56 ábra: Elemek törlése a Tervezőtáblából	145
6.57 ábra: Automatikusan generált Simítópályák	146
6.58 ábra: Módosított profilozás	146
7.1. ábra: Az UG-AF interfész működésének elvi vázlata.....	149
7.2. ábra: Az Autoform-NX interfész kezelő felülete.....	149
7.3. ábra: Alakítandó alkatrészek.....	150
7.4. ábra: A szerszámfelületek előállításához szükséges referenciafelület és az alakító szerszámok térbeli elhelyezkedése az alakítás előtt	151
7.5. ábra: Alakítási elrendezés.....	151
7.6. ábra: Az AutoFormból importált referencia felület a Unigraphics rendszerben.....	152
7.7. ábra: Referencia felület felhasználása a gyártásban	153
8.1 ábra: Kapcsolószög változása irányváltáskor hagyományos stratégiánál.....	155
8.2 ábra: Oldalirányú fogásvétel hagyományos és hullámformájú stratégiánál.....	156

SZERZŐK

	<p>Dr. Pálinkás Sándor Ph.D., az anyagtudományok és technológiák doktora. 2006-ban gépészmérnökként végzett a Miskolci Egyetem Gépészmérnöki Karán, Minőségbiztosítási Szakirányon, ezután 2009-ben okleveles anyagmérnök diplomát szerzett a Miskolci Egyetem Műszaki Anyagtudományi Kar Anyagvizsgálat ágazatán, Hőkezelő és Képlékenyalakító szakirányon. Ezt követően doktori képzésben vett részt és a Miskolci Egyetemen a képlékenyalakítás területén, oktatási és kutatási tevékenységet végzett. 2013-tól a Debreceni Egyetem Műszaki Karán oktat, többek között Vegyipari géptan I. és Gyártástechnológia I. gyakorlatokat, valamint Műszaki ábrázolás II. és Anyagismeret I. előadásokat tart.</p>
	<p>Balogh Gábor, 2002-ben anyagmérnökként, 2007-ben gépészmérnökként végzett a Miskolci Egyetemen. A Miskolci Egyetem Mechanikai Technológiai tanszékén, mint MTA tudományos segédmunkatárs részt vett az anyagtudományi és technológiai tárgyak oktatásában és ipari kutatómunkákban, főképp a képlékenyalakítás területén. Később az iparban Műszaki Vezetőként is számos képlékenyalakítási problémát old meg. Jelenleg a Debreceni Egyetem Műszaki Karán oktat Anyagismeret I, II, Szerkezeti anyagok technológiája tárgyakat. PhD kutatásait a Barkhausen-Zaj ipari alkalmazása területén végzi a Debreceni Egyetem Fizikai Doktori iskola keretein belül.</p>
	<p>Gyönyörű Attila, okleveles gépészmérnök. Műszaki tanulmányait a debreceni Mechwart András Gépipari és Informatikai Szakközépiskolában kezdte, ahol 1995-ben szerezte meg a Technológus bizonyítványt. Gépészmérnöki diplomáját a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi egyetemen, a Gépgyártástechnológia Tanszéken szerezte meg 2001-ben. A diploma megszerzését megelőzően demonstrátorként, majd azt követően doktoranduszként részt vett a Gépgyártástechnológia és a CAM képzésben. Már doktoranduszként együtt dolgozott az Edgcam akkori magyarországi forgalmazójával, ahol 2005-től főállásban is elhelyezkedett. Jelenleg is az Edgcam magyarországi forgalmazójánál dolgozik, napi kapcsolatot tartva a felhasználókkal.</p>

1 BEVEZETÉS

Napjainkban az ipari termelésben megkövetelt minőségügyi követelményeknek való megfelelési kényszer magával hozta mind a gyártóeszközök, mind a technológiai folyamatok, továbbá a gyártástechnológiában a technológiai előkészítés robbanásszerű fejlődését. A folyamatos nyomon követhetőség és a dokumentálás igényei miatt a termék tervezésétől kezdve jelen van a számítástechnika és a megfelelő szoftverrendszer, úgymint a számítógéppel segített tervezés (CAD), a végeelemes modellezés (FEM), a számítógéppel támogatott gyártástervezés (CAM) és a számítógéppel segített minőségbiztosítás (CAQ).

Azt a gyártási technológiát, amely számítógéppel vezérli a gyártást, egész egyszerűen CAM-nek, vagy számítógéppel támogatott gyártástervezésnek nevezzük. Az „offline” szerszámgép programozás dinamikus terjedését emellett számos egyéb szempont is indokolja:

- gyártási sorozatnagyságok csökkenése,
- alkatrészek bonyolultságának növekedése,
- szerszámgépek bonyolultságának növekedése,
- átfutási idők csökkenése,
- versenyképesség megtartása a globalizálódó piacon.

Mivel Magyarország jellemzően erős a beszállító ipar, így a technológiai folyamatokra nagy hatással vannak a megrendelők elvárásai. A piac átalakulását jól érzékelhetően nyomon tudjuk követni a fogyasztói termékeken (mint, például a mobil telefonok) vagy a járműpiacon. Ezeken a piacokon látható, hogy egyes modellek elérhetősége a piacon egyre rövidebb, és nagyon gyorsan jelennek meg új, vagy „ránccfelvarrott modellek”. Könnyen belátható, hogy egy autó esetében a legkisebb optikai módosítás is (1.1. ábra) számos fröccsöntő és akár lemezalakító szerszám szükségszerű újratervezését és gyártását eredményezi.



1.1. ábra: Optikai módosítások hatása a gyártószerszámokra

A gyakori modellváltás és a korszerű, minimális készletszinttel dolgozó (JIT) gyártásszemlélet azt eredményezi, hogy a járműgyártók is egyidejűleg egyre kisebb sorozatokat rendelnek beszállítóiktól. A kisebb sorozatnagyságok gyakoribb átállást eredményeznek, így a beállási időket kisebb darabszámra kell elosztani, ami szükségszerű árnövekedést eredményez, amennyiben a forgácsoló cég nem tudja minimalizálni az átállási időt. Ennek csökkentésében jelentős segítséget nyújthat a CAM rendszerben történő szerszámpálya tervezés, és akár teljes szerszámgép szimuláció, ami mintegy „virtuális prototípus gyártásként” lehetővé teszi az „elsőre jót” gyártási szemlélet megvalósítását a forgácsoló cégeknél. Ez a kihívás még jelentősebb egyedi gyártás és kissorozatok esetén,



ahol a gépbeállítási és programozási idő összevethető nagyságrendű lehet a tényleges forgácsolási idővel.

A CAM rendszerek automatizálási lehetőségeinek növekedésével, célszerű lehet azt már az ajánlatadási fázisban is alkalmazni, biztosítva a versenyképes, ugyanakkor rentábilis árszint kialakítását.

A CAM rendszerek elterjedését a technológia fejlődése is indokolja. A költséghatékonyság érdekében folyamatos a törekvés arra, hogy a korábban több alkatrészből szerelt konstrukciókat, egyetlen alkatrésszel helyettesítsék, ami az adott alkatrész bonyolultságát növeli. Az ezirányú fejlesztéseket a korszerű, többtengelyes szerszámgépek megfelelően támogatják, de ezek programozása már nagy szakértelmet és körültekintést igényel, ami csak nehezen megoldható CAM támogatás nélkül.

A gyártandó alkatrészek és a szerszámgépek technológiai fejlődése mellett a forgácsoló szerszámok is folyamatosan fejlődnek. Ezen fejlesztések esetenként olyan igényeket támasztanak a készítendő szerszám pályával szemben, amelyek kézi programozással vagy a vezérlők belső, akár dialóg ciklusaival nem megvalósíthatóak. Ilyen például esztergálás esetén a Wiper geometria alkalmazása, amely a speciális, több rádiusból álló csúcskialakítás miatt, kézi programozással nem alkalmazható gömb- vagy kúpfelületek sugárkorrekcióval történő megmunkálásához. Hasonló technológiai fejlesztés nagyoló esztergálásra és marásra a hullámformájú nagyoló technológia, amely nagysebességű megmunkálást tesz lehetővé állandó anyageltávolítási érték mellett. Mivel a kézi programozással, vagy akár az egyes vezérlőkben elérhető nagyoló ciklusok állandó fogásmélységgel dolgoznak.

A fentiek miatt a korszerű informatikai lehetőségek kihasználásán alapuló szemléletmód napjainkban nélkülözhetetlen eszköz a mérnökök kezében és elengedhetetlen a költség, az energia, a nyersanyag felhasználása szempontjából és nem utolsósorban a gyártás hatékonyságának növelése érdekében. A felsorolt területek mindegyike speciális szaktudást igényel.

Könyvünkben elsősorban a számítógéppel segített gyártás (CAM – Computer Aided Manufacturing) fejlődését, alkalmazási lehetőségeit, és az egyes technológiai lépéseket tervező-szimulációs szoftverekkel szemben támasztott követelményrendszert ismerheti meg az olvasó. Továbbá a technológiai művelettervezés számítógéppel segített tervezését olyan aktuális ipari példákon keresztül mutatjuk be, melyeknek gyártástechnológiai kidolgozásában a legmodernebb eszközöket használtuk. A bemutatott példafeladatok elsősorban forgácsoló eljárásokat (esztergálás, marás) tartalmaznak, de találkozhatunk képlékenyalakítással kapcsolatos megoldásokkal is. Az Edgcam segítségével demonstráljuk egy süllyesztékszerszám marással történő megmunkálását.

Az alkatrészek megválasztásánál igyekeztünk olyan példákat keresni, amik lehetővé teszik azon jellemző esztergálási és marási ciklusok bemutatását, amelyek a járműiparban jellemző alkatrészek és szerszámok forgácsoló programjaiban használatosak.

2 A CAM KIALAKULÁSA, FEJLŐDÉSÉNEK TÖRTÉNETE

2.1 Esztergagépek fejlődéstörténete

Minden esztergagép alapvető működése a munkadarab forgó mozgására, és a szerszámok alternáló mozgására épül. Ahhoz hogy képesek legyünk forgácsolni ezen erőket meg kellett ismernünk. Őseink már kihasználták a lendület és a centrifugális erő hatásait a fonáshoz használt orsóknál és a fazekaskorongoknál. Az első gép, amelyet már szerszámgépnek nevezhetünk az íjjal meghajtott fúró volt, majd ezt követte az íjeszterga. A kisebb méretű darabokat egyszerű íjesztergákon munkálták meg, de megjelentek a lábbal hajtott esztergagépek is, melyet a következő ábrán látható kódex illusztrációkon láthatunk [1].



2.1. ábra: Kódex illusztrációk az első íj- és lábbal hajtott esztergákról

Forrás: [1]

Ezen szerszámgépekről a legkorábbi feljegyzések Egyiptomból KE 300-ból lelhetőek fel. A gépek meghajtása egyénileg, vagy segéderő bevonásával folyt. Többnyire a földre voltak telepítve és két ember kellett a működtetésükhöz. Az egyik a szíjjal forgatta a munkadarabot oda-vissza, míg a másik a forgácsoló szerszámot kezelte és biztosította a megfelelő forgácsoló erőt.

Később a vaskorban a Glastonbury tavak mellett egy faesztergálásra szakosodott település volt, ahol a Kelták a ló vontatta kocsik tengelyeit, kerékagyát, és egyéb esztergált alkatrészeket gyártottak nagy mennyiségben. A felfedezés amatőr régészek, Arthur Bullieid és Harold St George Gray nevéhez köthető. Feltételezhető hogy a kerékagyak gyártásához az egyszerű szíj hajtás már nem volt elegendő, erre enged következtetni a fennmaradt rúdeszterga szerkezete, melynek a meghajtását azonban homály fedti [1].

A Római birodalomban is mindennaposnak számított az esztergagépek használata főképp a famegmunkálás, bútorkészítés területén. Még puhább kőzeteket is meg tudtak munkálni, melyet főképp az építészetben alkalmaztak. A következő fejlesztők a vikingek voltak, akik mesterei voltak a famegmunkálásnak mind a nagyobb termékek, mind pedig az egyszerű használati tárgyak esetén. Például a fából készült edények esztergálásánál alkalmazott



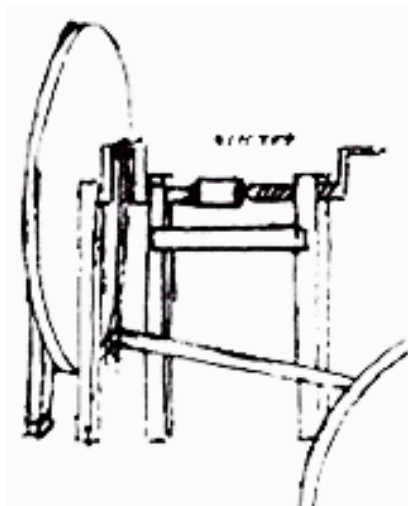
eljárásuk a mai napig megtalálható pl. Románia területén Ion Constantin faesztergályos hátsó udvarában.

A rúdesztergák első fennmaradt illusztrációi a 13. századi katedrálisok üveglablakain találhatóak, ahol egy női alak ül egy lábbal hajtott rúdeszterga előtt. A következő jelentősebb említés a Mendel család nevéhez fűződik, akik az általuk 1425-ben megjelentetett „House Book” könyvben egy teljes lapot szenteltek az esztergagép bemutatásának, mely egy egyszerű faasztalra volt felszerelve. A Nurembergben 1568-ban megjelent „Book of Trades” is tartalmazott említést, és történelmi visszautalást az esztergákra. A 17. században készültek olyan íjak, melyek egy egyszerű átalakítással meghajthatták az esztergát is. Az első kézikönyv a „Hand or Simple Turning” John Jacob Holtzappfel nevéhez fűződik [1].

A következő nagy lépés a folyamatos, egyirányú forgómozgás megjelenése volt. A kerék talán az emberiség egyik legnagyobb találmánya, amit már KE. 3500-ban alkalmaztak. A folyamatos forgómozgás legnagyobb előnye a kontrollálhatóság. Joseph Moxton 1683-ban így írt erről:

„Mindamellett, hogy nehéz kezelni, a lendkerék hatékonyabbá teszi a rúdesztergálást, mert az oda-vissza forgatás határok közé szorítja a megmunkálást, de a kerék folytonos forgása, ráadásul ugyanabban az irányban lehetővé teszi, hogy a forgácsoló szerszámot ne kelljen felemelni a darabról, így folyamatossá téve a megmunkálást” [1].

Az első fellelhető rajzot Leonardo Da Vinci készítette 1480-ban, mely alapján elképzelést alkothatunk az akkori esztergagépek kinézetéről.

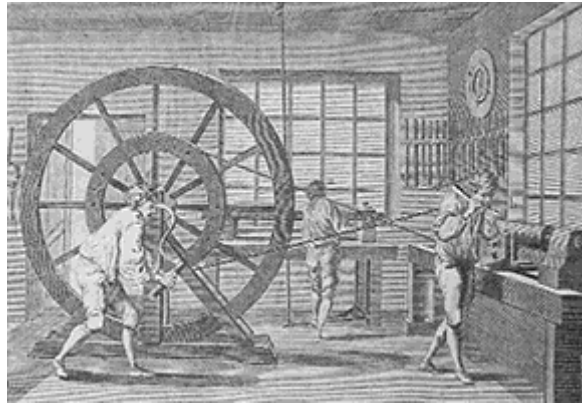


2.2. ábra: Leonardo Da Vinci rajza egy esztergagépről – kódex illusztráció

Forrás: [1]

A lendkerék elhelyezése az eszterga kialakítását határozta meg. Alapvetően két típus volt használatos, a függőlegesen elhelyezett lendkerekes, mely szíjhajtással, vagy rudazattal csatlakozott a meghajtott darabhoz, illetve a vízszintesen elhelyezett lendkerekes, mely fa fogaskerekek segítségével adta át a forgómozgást a darabnak. Ez utóbbi esetében egy

ember elegendő volt a használathoz, hiszen lábbal hajthatta a gépet. Ez nagy előrelépés volt ugyan, de ennek a kialakításnak is megvoltak a határai, mégpedig a megmunkálható méret. Nagyobb darabok megmunkálásához továbbra is a külön meghajtott lendkereket alkalmazták, melyek között nem volt ritka a 4m-es átmérő sem. Ezt külön személyzet hajtotta. 1568-ban a „Book of Trades”-ben jelenik meg róla illusztráció, melyet az alábbi ábrán láthatunk [1].



2.3. ábra: Lendkerekes esztergagép

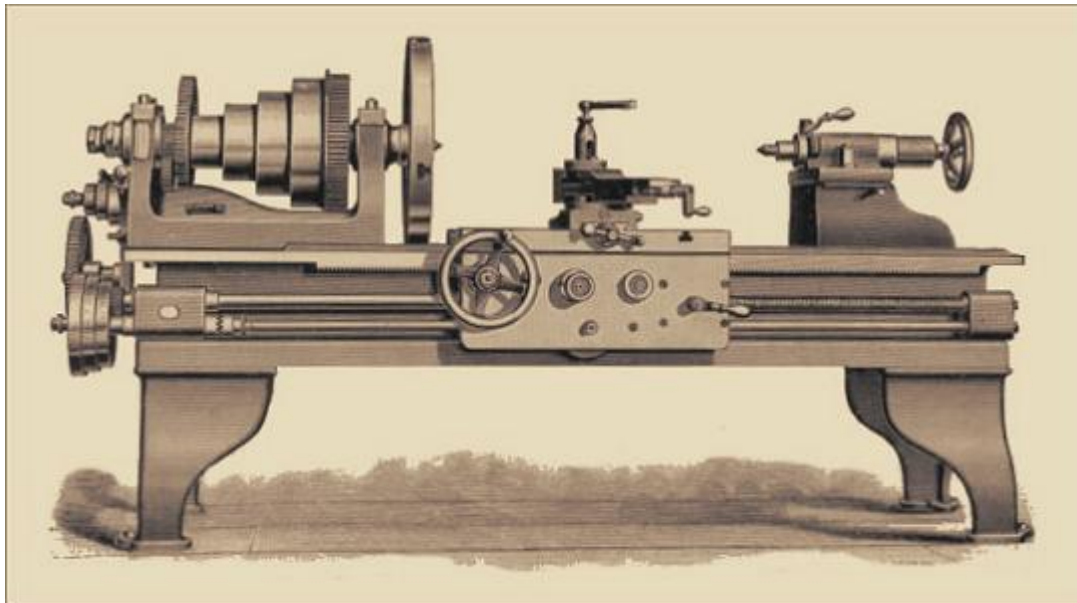
Forrás: [1]

Nagy uralkodók is támogatták az esztergagépek fejlődését azért, hogy előszeretettel alkalmazták az így készült termékeket, mind az építészet, mind pedig a bútorkészítés és egyéb használati tárgyak területén. Ilyen uralkodók voltak Nagy Péter Orosz cár (1672-1725) és XVI. Lajos francia király (1774-1792). Ebben az időszakban kezdtek elterjedni a vízkerékkel hajtott esztergagépek, melyekkel már nagyobb darabok is megmunkálhatóak voltak (először 1701-ben említik meg) a hajtás nyomatékának megnövekedésével. Sokszor egyszerűen a vízimalmok épületébe telepítették a berendezéseket, hogy kevesebbe kerüljön a beruházás.

Északnyugat Angliában az „Orsók Királya” néven emlegetett nagybirtokos vízkerék meghajtású esztergagépeket telepít orsók gyártására, melyeket a pamutfeldolgozó üzemében használ fel. 1854-ben a vízkerék turbinára cserél, mely még hatékonyabbá tette a gyártást. Szintén egy Angol, Thomas Savery Kapitány 1698-ban megépíti az első korai gőzgépet, mely szinte azonnal elterjed az esztergagépek meghajtására, így elindítva az iparág robbanásszerű fejlődését [1].

Az első belső égésű motor 1860-ban jelent meg az esztergagépek meghajtásánál, bár ez még korántsem volt túl hatékony, mindössze két gépet tudott egyszerre meghajtani. Későbbiekben azonban elterjed a kisebb üzemekben, családi vállalkozásokban, ahol nincs is szükség több gép együttes munkájára [1].

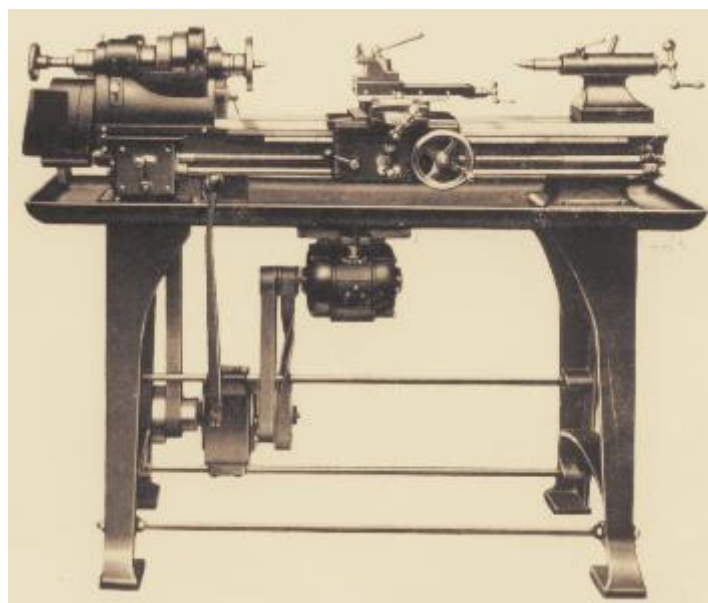
William Fell 1880-ban már másolóesztergákat exportált szerte a világba, Oroszországba, Japánba, és Észak Amerikába. 1925-ben a Kirchner nevű német cég már széles körben gyártotta és forgalmazta ezeket a gépeket.



2.4. ábra: Eszterga transzmissziós hajtással

Forrás: [2]

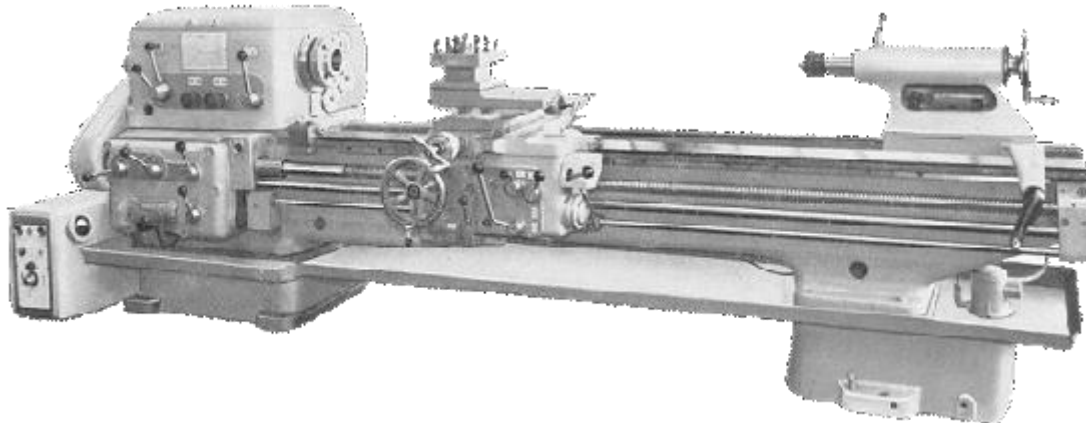
Az esztergák egyedi meghajtására körülbelül az 1920-as évektől villamos motort használnak [2].



2.5. ábra: Eszterga egyedi meghajtással

Forrás: [2]

Az esztergák egyszerű, könnyed felépítésének megváltoztatását az tette szükségessé, hogy az új szerszámanyagok miatt megnövekedett forgácsolási teljesítményt az eddigi kialakítás nem viselte el. Erősebb, merevebb gépeket kellett tehát építeni [2].



2.6. ábra: Eszterga az 1940-es évekből

Forrás: [2]

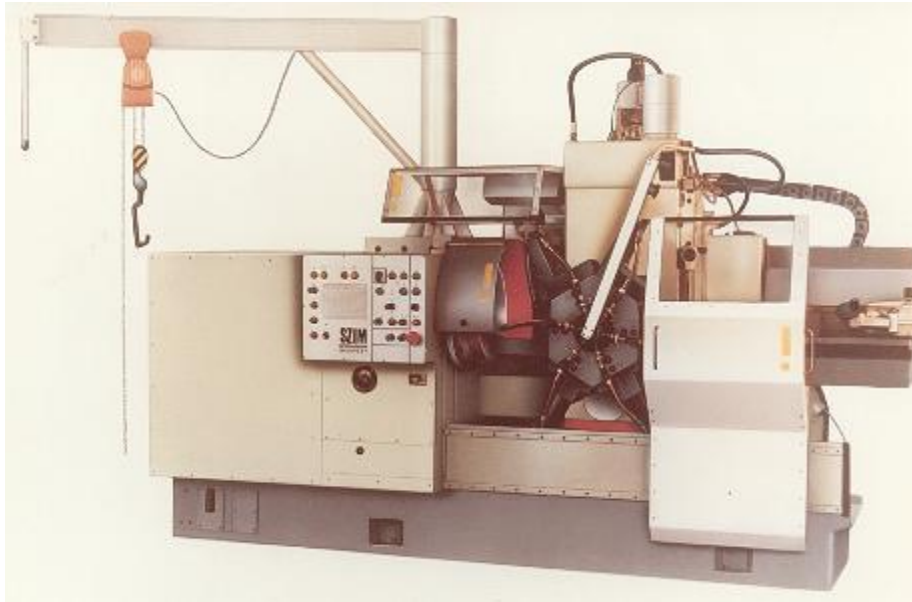


2.7. ábra: Eszterga az 1960-as évekből

Forrás: [2]

Az NC vezérlés az 1960-as évektől egyre nagyobb ütemben fejlődött, így az esztergák nagy része is a korszerű technikával lett ellátva.

1966-ban német felmérések kimutatták, hogy az esztergán megmunkált alkatrészek döntő többsége rövid, tárcsa jellegű. Főlöszleges nagyméretű esztergákat építeni, ha azok lehetőségeit csak ritkán használják ki [2].



2.8. ábra: NC vezérlésű eszterga az 1970-es évekből

Forrás: [2]



2.9. ábra: CNC eszterga az 1980-as évekből

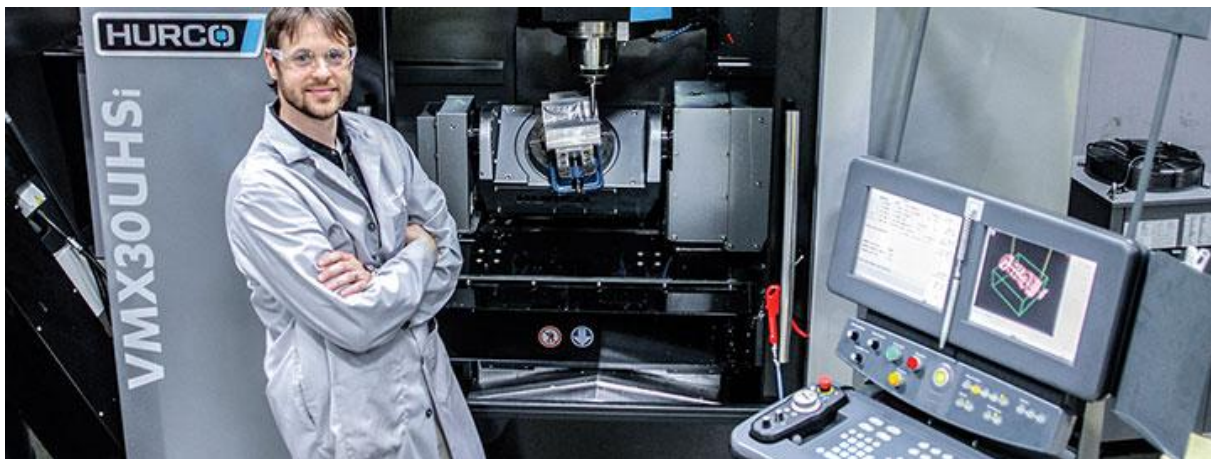
Forrás: [2]



2.10. ábra: CNC eszterga az 1990-es évekből

Forrás: [2]

A napjainkban készülő esztergák szinte kivétel nélkül CNC vezérléssel vannak ellátva, de azért még mindig gyártanak hagyományos esztergát, mert a szegényebb országok és a kis vállalkozások igényeinek ezek is megfelelnek. Persze ezek is korszerű anyagokból és jó minőségben kerülnek legyártásra, de a vezérlés és a hozzá szükséges érzékelők, mérőrendszerek jelentős többletköltségét megspórolhatják.



2.11. ábra: Mai modern CNC berendezés

Forrás: [3]



2.2 CAM fejlődésének története

A CAD és CAM koncepciójának története viszonylag rövid, hiszen ez egy modern, és napjainkban is fejlődő terület. Alkalmazásuk egyidős a hozzájuk szükséges gépekkel. A hivatalos források szerint az iparban, a tudományokban és a kutatás területén körülbelül 30 éve alkalmazzák ezeket a technikákat. Az első kapcsolódás a CAD és a végeselemes rendszerek között 1970-ben került publikálásra. A PC munkaállomások megjelenésével a CAD alkalmazása mindennapossá vált. Először a relatív nagy költségek miatt nem terjedt el az alkalmazása csupán egy-két nagyvállalat engedhette meg magának alkalmazásukat. Ahogy a PC-k ára csökkent a CAD szoftverek köre bővült, és emellett az áruk is csökkent, így egyre szélesebb körben elterjedtek. Az 1960-as évektől a fejlődést az alábbi felsorolás szerint foglalhatjuk össze.

1960-as évek:

- A PC-k grafikus rendszerén végzett jelentős fejlesztések,
- A „sketchpad” rajztábla kifejlesztése (1962 - Ivan Sutherland),
- A CAD szó megjelenik a köztudatban,
- Az első jelentős CAD/CAM alkalmazás megjelenik a piacon (CAD/CAM 1965 - Lockheed),
- Bell Telefonja – Grafikus távoli asztal alkalmazás.

1970-es évek:

- A CAM alkalmazása elterjed az ipar, a tudományok és a kutatás területén,
- Nemzetközi testület alakul,
- Elkezdődik a grafikai modulok alkalmazása,
- Az első drafting alkalmazás megjelenik (Turnkey),
- Drótvázás és felületi modell megjelenik,
- Tömög, sűrűség számításokra alkalmas FEA (végeselem analízis) szoftver,
- NC szalag generálás, próbaprogramok, és az integrált áramkörök megjelenése.

1980-as évek:

- CAD/CAM használata a mérnöki szektorban és a fejlesztésben,
- Új CAD/CAM teóriák és algoritmusok elterjedése,
- CAD/CAM integrálása,
- Tömör test modellek megjelenése (solid modelling),
- A PC-k és munkaállomások széles körben elterjednek.

1990-es évek:

- Párhuzamos tervezés koncepciójának megjelenése,
- Emelkedik a CAD/CAM alkalmazások és a PC-k száma,
- Hardware- és szoftverfejlesztések.



2000-es évektől napjainkig:

- A „teamwork” tervezési metódus kialakulása,
- Szimulációs szoftverek robbanásszerű fejlődése,
- CAD/CAM rendszerek 3D grafikus rendszereinek megjelenése,
- 3D szimuláció megjelenése,
- Teljes folyamat szimuláció, gyártás szimuláció,
- A szimulációs rendszerek integrálása a szerszámgépekbe,
- Mesterséges intelligencia kísérletek a szerszámgépeknél.

A CAD/CAM alkalmazások fejlődése tehát pillanatnyilag is tart. A területen születő publikációk száma napjainkban is jelentős. Talán a gyártórendszerek integrációja lehet a következő lépés, ami egy jelentős tudományos lépés lenne ebben a témakörben.

2.3 A CAD/CAM Integráció irányai

A CAD rendszerek széles körben történő elterjedése szinte kötelezően generálta a felhasználói igények körének jelentős bővülését. Továbbá mivel a felhasználók tábora bővült, ezért a CAD rendszerek kiemelkedtek a specializált, és célorientált szoftverek közül és a fejlesztők azon törekvése is beigazolódott, miszerint minél több területre be kívántak jutni a mérnöki gyakorlat világában [4].

A fejlesztők ezt a célt csak oly módon tudták elérni, hogy a CAD rendszerek integrációját kiterjesztették. A továbbiakban tehát az integráció két irányban lehetséges.

2.3.1 Integráció felfelé

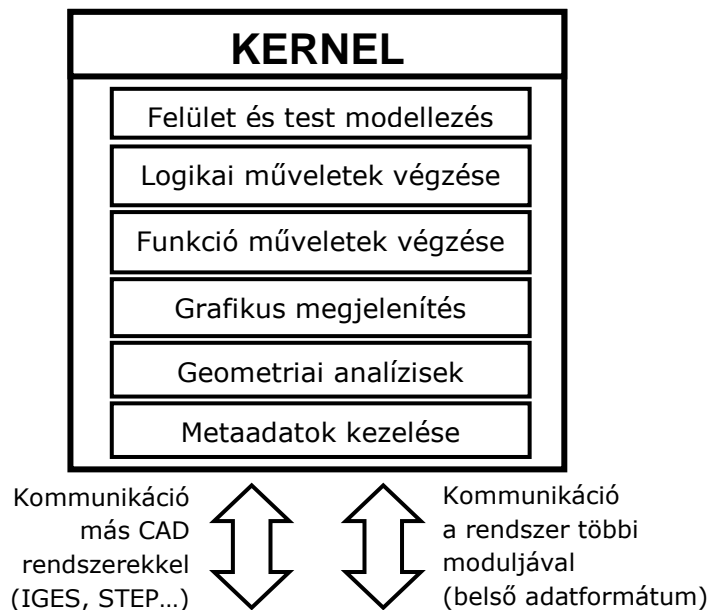
Ne gondoljunk arra, hogy az önmagukban is összetett és magas fokon integrált CAD rendszerek egy az egyben beépülnek más rendszerekbe. A CAD rendszerek alapfunkciói már több területen is megjelentek más rendszerek részeként.

2.3.2 Integráció lefelé

Az egyre jobban szerteágazó felhasználói igényeknek csak a CAD rendszerek integráltságának növelésével lehet megfelelni. Az integráció funkció és megvalósítási szint szerint is értelmezhető.

2.4 CAD rendszerek integrációja más rendszerekbe

Egy CAD rendszer annyira összetett szoftver, hogy annak teljes integrációja más rendszerbe nem megvalósítható. Ennek ellenére egy CAD rendszer alapját adó modul, a grafikus kernel, más rendszerekbe is beépülhet. Minden CAD rendszer esszenciális része a grafikus kernel. Ez a programmodul valósítja meg a modern CAD rendszerek 3D-s objektumainak kezelését és megjelenítését. A kernel biztosítja az adatkommunikációhoz szükséges funkciókat, melyek segítségével különböző CAD szakmodulok egymással, illetve különböző CAD rendszerek egymás között kommunikálhatnak [4].



2.12. ábra: Grafikus kernel

2.5 Alkalmazások

A grafikus kernelek más szoftverekbe történő integrációjával a CAD rendszerek egyes funkciói válnak elérhetővé más szoftverekben. Jellemzően az integráció a 3D-s adatok kezelése, megjelenítése és az adatkommunikáció egyszerűsítése céljából történik, jelentősen lerövidítve az alkalmazás kifejlesztésére fordítandó időt. A CAD kernelt használó tipikus alkalmazások:

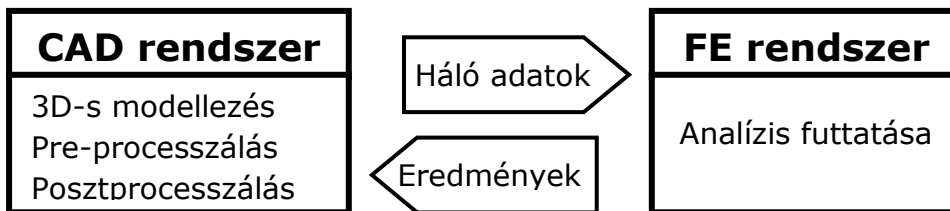
- PLM rendszerek vizualizációs moduljai,
- CNC megmunkáló szoftverek,
- Formatervező alkalmazások,
- Szimulációs szoftverek (jellemzően áramlástan területén),
- Adatkonvertáló alkalmazások [4].

2.6 Az integráció szintjei

Amennyiben a CAD rendszerekbe integrálódott funkciókat tekintjük, akkor az integráció megvalósítása különböző szinteken történhet. A legkötetlenebb módja az integrációnak, amikor a CAD rendszer és egy adott funkciót szolgáltató külső alkalmazás működik együtt.



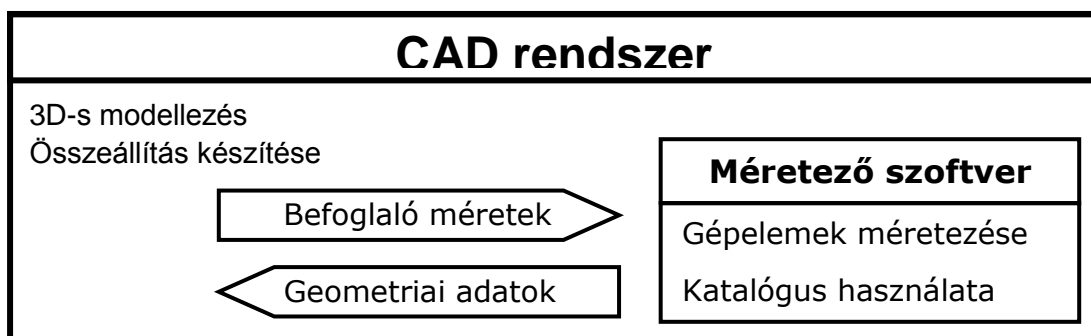
Régebben ez a módja egy funkció megvalósításának meglehetősen általános volt. Jellemző példája az ilyen szoros együttműködésnek egy CAD rendszer és egy végelelemes (FE) szoftver együttműködése [4]:



2.13. ábra: CAD-FE integráció

Ezekben az esetekben a CAD rendszerbe integrált speciális program modul szolgált kapcsolattartásra a két rendszer között. Az integráltság meglehetősen alacsony szintű, mivel a CAD rendszerből át kell lépni egy analízis futtatásához a végelelemes rendszerbe, majd onnan vissza kell térni a CAD rendszerbe az analízis eredményeinek megtekintéséhez [4].

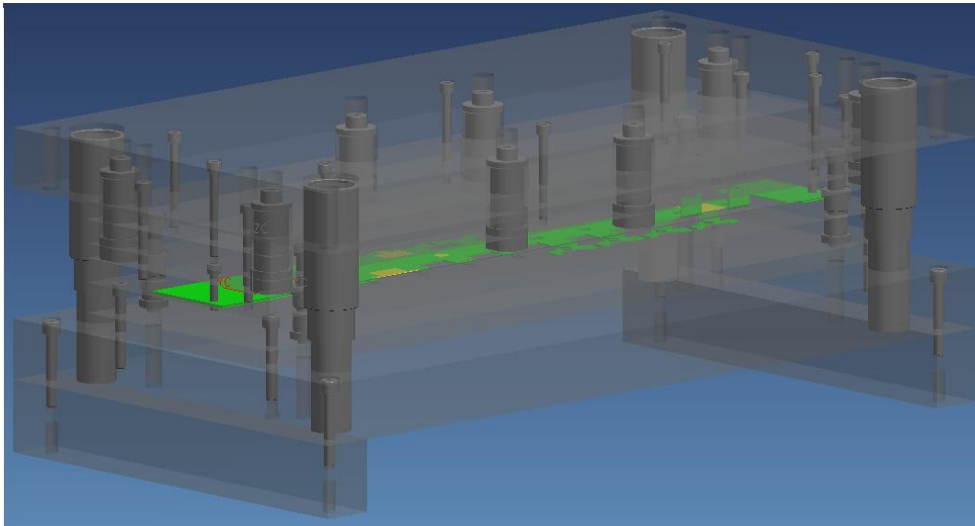
Az előző esetnél magasabb szintű integrációt valósít meg az a megoldás, ahol egy adott funkciót még mindig a CAD rendszertől független szoftver valósít meg, de a CAD rendszer keretein belül. Ebben az esetben a felhasználónak nem kell kilépnie az adott CAD rendszerből a külső alkalmazás eléréséhez, hanem legtöbbször egy speciális menü struktúra segítségével meghívhatja a külső alkalmazást, ott műveleteket végezhet, majd az alkalmazásból kilépve az elvégzett változások azonnal megtekinthetők a CAD modellen. Ilyen részleges integrációra lehet példa egy CAD rendszer és egy mérnöki számításokat végző szoftver (Méretező szoftver) integrációja [4]:



2.14. ábra: CAD és méretező software integrációja

Az integráció legmagasabb szintje, amikor egy funkció beépített szakmodul formájában érhető el. Ebben az esetben a CAD rendszerben megszokott környezetben és egységesített formában tudja a felhasználó elérni a szakmodul által biztosított speciális funkciókat. Egy ilyen szakmodul kétféle módon készülhet [4]:

- belső fejlesztésként a felhasználói igények alapján,
- már létező szoftver megvásárlásával, majd teljes körű integrációjával.



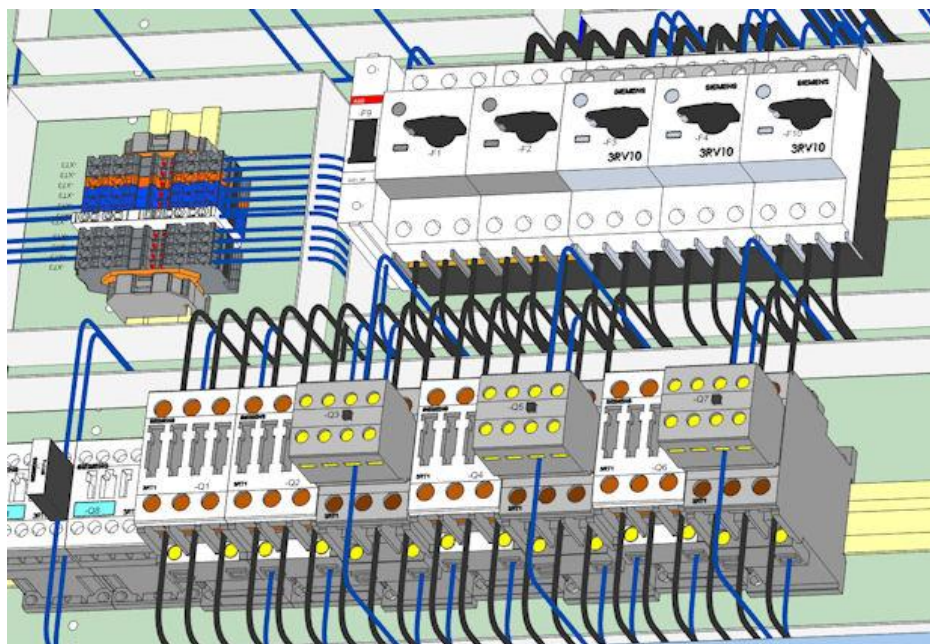
2.15. ábra: Szerszámház katalógusból választva - képlékenyalakító szakmodul

Érdeemes úgy is megvizsgálni az integrációt a CAD rendszereknél, hogy a megvalósított funkciók oldaláról vizsgáljuk a dolgokat. Erről az oldalról nézve jó áttekintést kaphatunk, hogy milyen felhasználói igények alapján integráltak újabb és újabb funkciókat a CAD rendszerekbe.

2.7 Specializált tervezői modulok

Kezdetben a CAD rendszerek bővülését szinte kizárólag újabb, szakmailag specializált szakmodulok kiadása jelentette. Ezek rendszerint valamilyen belső fejlesztés eredményeként jöttek létre. Ekkor jöttek létre a ma már általánosan elterjedt szakmodulok [4]:

- formatervező modul,
- öntészeti modul,
- fröccsöntő szerszámtervező modul,
- fémöntő szerszámtervező modul,
- NC megmunkáló modulok,
- lemezalkatrész-tervező és megmunkáló modul,
- hegesztés tervező modul,
- kábelevezést segítő modul,
- csővezeték tervező modul,
- kinematikai- és dinamikai szimulációs modul.

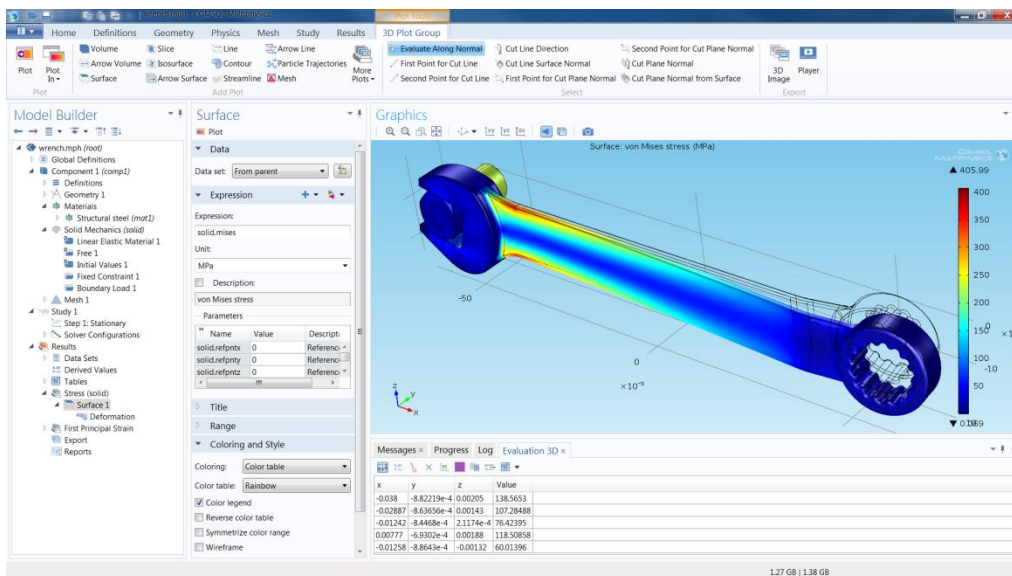


2.16. ábra: Kábelelrendezés tervezése szakmodullal

Forrás: [5]

Napjainkban továbbra is jelennek meg új szakmodulok, de egyre szűkül azon gépészeti szakterületek köre, melyeket nem fed még le valamilyen speciális szakmodul. A csúcskategóriás CAD rendszerek nem ritkán több mint 100 szakmodult nyújtanak a felhasználóknak egészen speciális szakterületeket is lefedve. Álljon itt néhány ilyen egészen speciális szakmodul mintegy szemelvényül [4]:

- hajótervező modul,
- mérőgép adatait feldolgozó modul,
- kompozit tervező modul,
- ergonómiai modul,
- koncepcionális tervező modul,
- létesítménytervező modul,
- különböző szilárdságtani szimulációs modulok.



2.17. ábra: Mechanikai terhelés szimulációja

Forrás: [6]

Mindezen egészen speciális modulok mellett megtalálhatók még olyan modulok is, melyek egy adott alkalmazással történő kapcsolattartást hivatottak segíteni. Ezen modulok nagyban függenek attól, hogy egy adott CAD rendszer fejlesztője mely más cégekkel tart fenn szoros kapcsolatot, egymás alkalmazásainak támogatására. Jellemző példa lehet az egyes gépészeti CAD rendszerek és elektronikai tervezőrendszerek közötti együttműködés, ahol a gépészeti CAD rendszer egy nyomtatott áramkör kapcsolási rajza alapján képes elkészíteni az áramkör 3D-s modelljét [4].



2.18. ábra: Konceptióból 3D terv

Forrás: [7]

2.8 Általános célú modulok

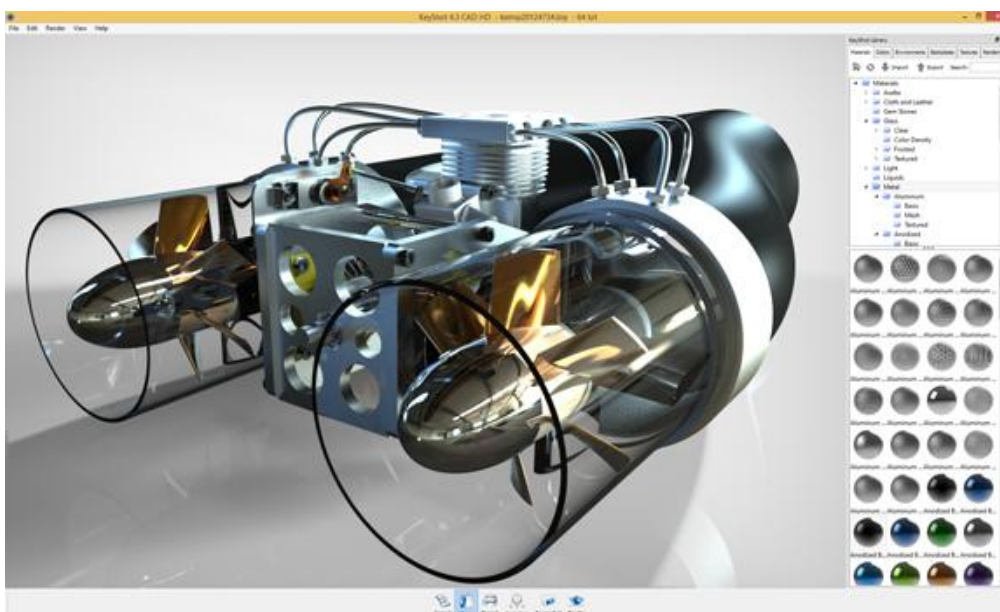
A speciális feladatokra készített szakmodulok mellett olyan programmodulok is készülnek, melyek nem köthetők egyetlen specializált gépészeti feladathoz sem. Régebben ezeknek a feladatoknak az elvégzésére külön szoftverek segítségét kellett igénybe venni. A felhasználói igények abba az irányba mozdították el a CAD rendszerek fejlesztőit, hogy egyre több különálló szoftvert váltsanak ki, egyszerűsítve ezzel a mérnökök munkáját. Az ilyen célú CAD modulok alkalmazása a következő előnyöket jelentheti a különálló szoftverekkel szemben:

- az így készült dokumentumok asszociatívak a CAD modellekkel,
- a CAD rendszer megszokott felhasználói felületét lehet használni,
- nem kell több szoftvert fenntartani és adminisztrálni,
- költségek szempontjából is kedvezőbb lehet egy integrált modul birtoklása [4].

Mindezen előnyök ellenére számos korlátja is van egy adott célú szakmodulnak, összehasonlítva egy kifejezetten erre a célra készült, önálló szoftverrel. Általában egy modul kevesebb funkciót és beállítási lehetőséget biztosít, mint egy önálló szoftver. Ennek sokszor az az oka, hogy a szakmodul alapját is magának az önálló szoftvernek egy licenzelt része adja és egy ilyen szoftver sohasem akar konkurenciát állítani magának [4].

2.9 Fotó realiztikus terméktervezés

Az egyik legjobb példája az általános célú moduloknak a ma már minden CAD rendszerben megtalálható „photorender” modul. Ezzel a modullal fotó realiztikus képeket lehet készíteni a CAD modellekről. Az 1990-es évek elején ilyen képeket kizárólag különálló szoftverekkel lehetett készíteni. Egyes szoftverek ára összemérhető volt a CAD rendszerekkel. Mindezek mellett egy különálló renderelő szoftverbe csak nehézkesen lehetett átvinni a 3D-s modelleket a CAD rendszerekből.



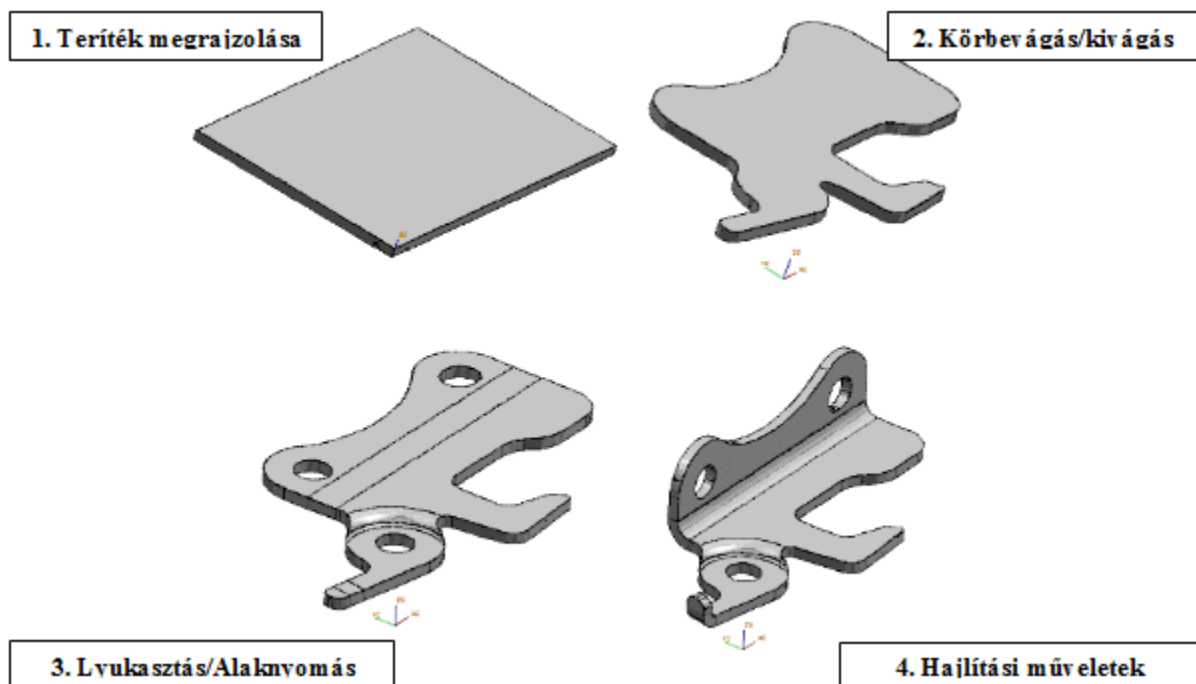
2.19. ábra: Fotó realiztikus kép

Forrás: [8]

Az idő előrehaladtával egyre komolyabb igény jelentkezett arra, hogy a mérnökök által tervezett termékekről még a tervezés korai fázisában magas színvonalú, realiztikus képek készüljenek, segítve ezzel más területek (pl. marketing) munkáját. Ezekre az igényekre készítették el a CAD rendszerek fejlesztői a fotórenderelő és animációs szakmodulokat.

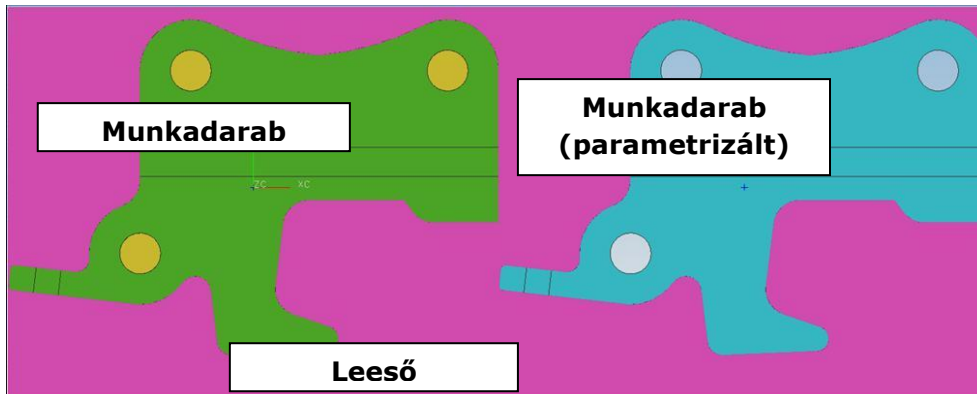
2.10 Lemezalakító sorozatszám tervező modul – ipari példa [9]

Ebben a fejezet részben egy olyan alkatrész tervezését kívánjuk bemutatni (NX-Progressive Die Wizard CAM program alkalmazásával), mely a logisztikában használatos konvejtör egyik eleme, nevezetesen a kovejtörláncot felépítő láncszemek egyike. Az alkatrész tervezési szakaszában alkalmazzuk azokat az előnyöket, melyeket a számítógéppel segített szerszámtervezés felkínál számunkra. Az alkatrészt tehát a lemezalakító műveletek parametrikus megadásával készítjük el, ennek következtében a lemezalakító sorozatszám tervezése is könnyebbé válik. Az alkatrész tervezési folyamatának egyes lépéseit az alábbi ábra segítségével mutatjuk be.



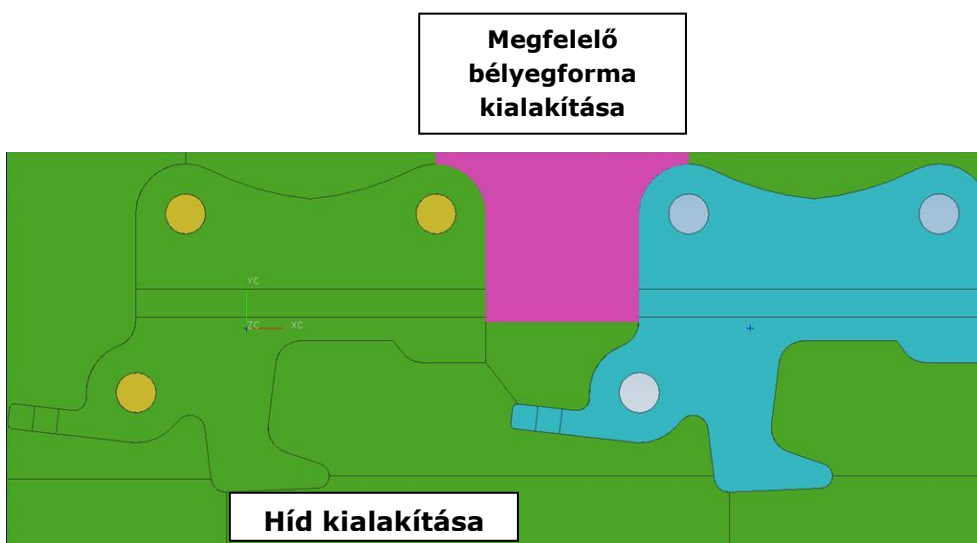
2.20. ábra: Az alkatrész kialakításának folyamata

Miután megterveztük a szükséges alkatrészt, nekikezdhethünk a sorozatszám tervezéséhez. Első lépésként a hagyományos szerszámtervezési elveket követve egy elrendezési tervet úgynevezett lemeztervet készítünk, ahol megadjuk a sáv szélességét, a hidakat, valamint a kialakításra kerülő lemezalkatrészek geometriai elhelyezkedését a sávon. Ennek szemléltetésére szolgáljon az alábbi ábra:



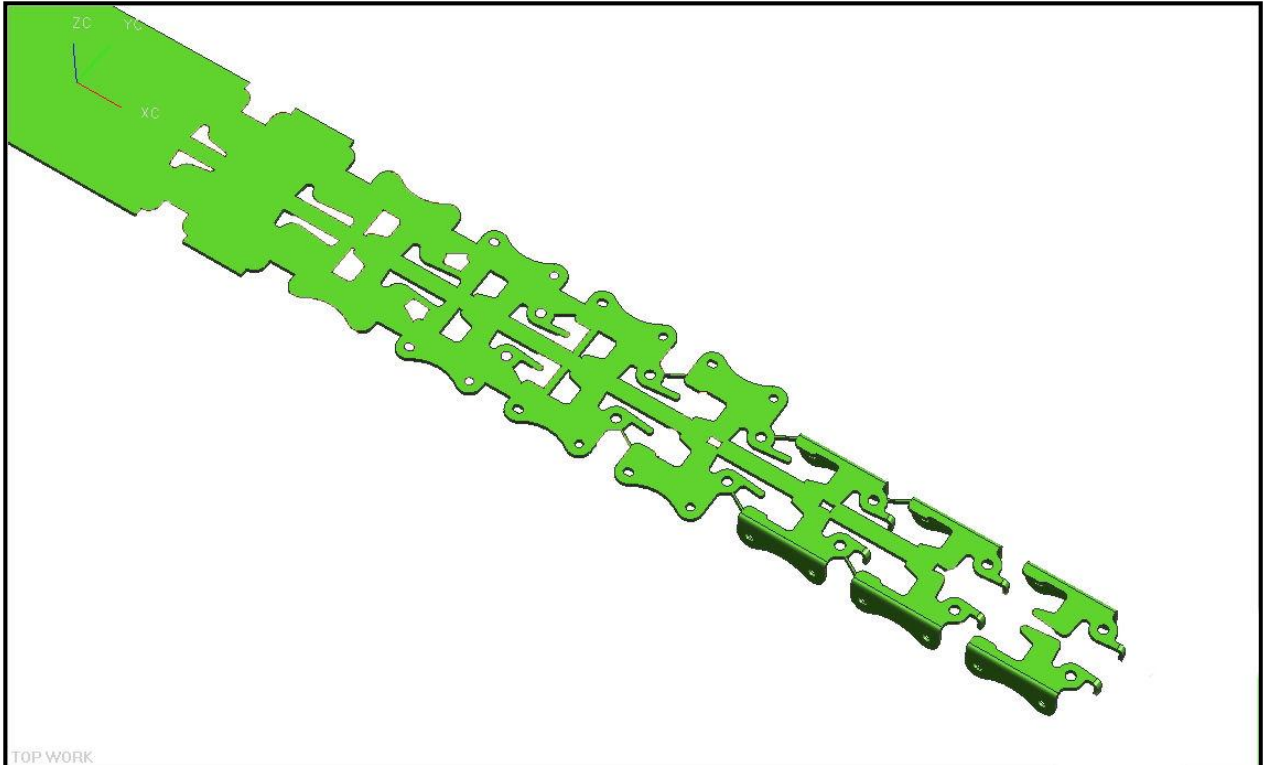
2.21. ábra: Lemzterv

Mivel ezt a leeső anyagrészt úgy kell kialakítani, hogy a hidat is ebből képezzük, illetve csak megfelelő geometriai alakzatokat tudunk ésszerűen egy bélyeggel kivágni, ezért több darabra kell osztanunk ezt a leeső anyagrészt, hogy a későbbiekben szükséges paraméterek definiálhatóak legyenek. Ennek szemléltetését szolgálja az alábbi ábra.



2.22. ábra: A leeső anyagrész felosztása

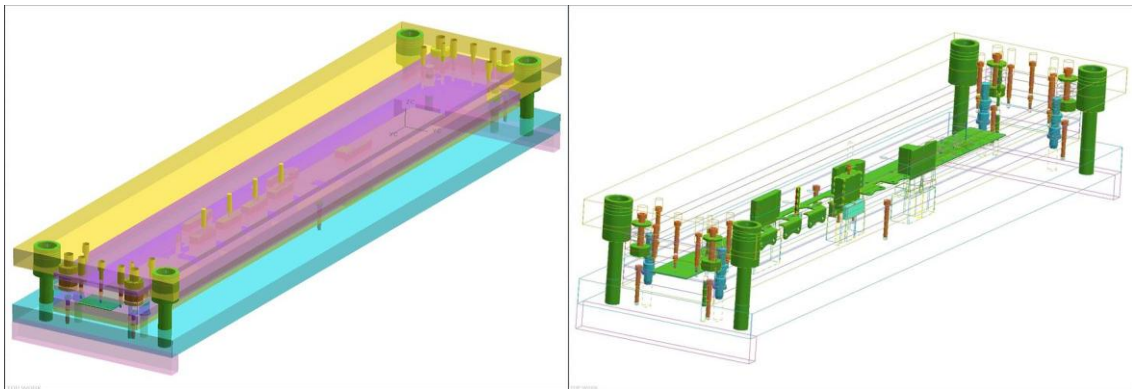
Miután definiáltuk a hidat (esetleg hidakat) és kialakítottuk azokat a bélyegkörvonalakat, melyekkel a lyukasztásokat, illetve az anyagleválasztást fogjuk a későbbiekben kivitelezni, továbbléphetünk. A következő lépésben definiáljuk az egyes lemezalkító műveleteket – melyben a program segítő kezét nyújt – valamint azok egymásutánosságát, ezáltal kialakul az ún. sávterv, melynek segítségével már láthatóvá válik számunkra az egyes leütéseknél történő alakító műveletek eredménye, s végigkövethetjük az alkatrészünk kialakulását.



2.23. ábra: Sávterv

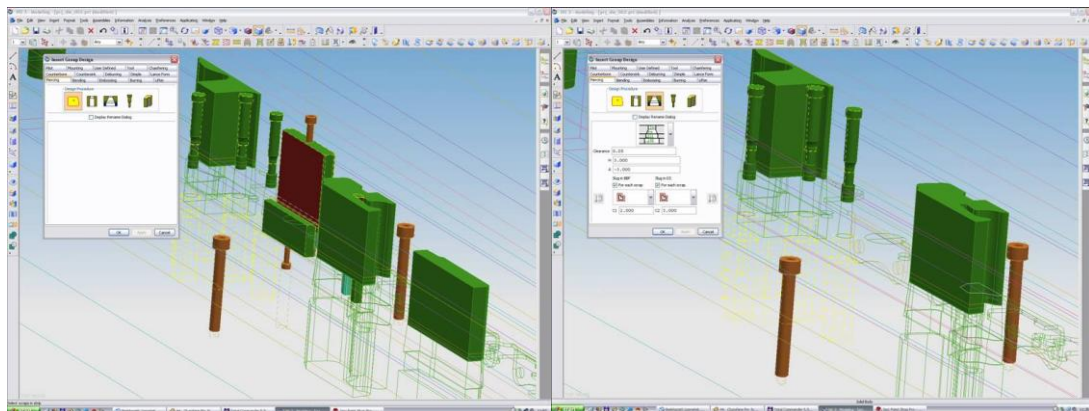
Miután megkaptuk a sávtervet, elvégezzük az alakíthatósági vizsgálatot, azaz képlékeny alakítási folyamatunk alakíthatósági szimulációját. A szimuláció lefuttatása után látványos eredményeket kapunk, ha valamely műveletet rossz állomáshoz rendeltük, esetleg rossz paramétereket használtunk, ez rögtön kiütközik a szimuláció eredményén, mégpedig vizuálisan észlelhető módon, mert a folyamat végén nem a végeredményként várt alkatrészt fogjuk megkapni, hanem hibával terhelt darabot. Mivel a program interaktív módon frissíti a lépéseket, ezért természetesen van módunk javítani a folyamaton, és ha ezt kellő figyelmességgel végezzük, megkapjuk a kívánt eredményt. Példaként a következő ábra szolgál.

Miután rendelkezésünkre állnak a megfelelő paraméterek, következő lépésként a szerszámházat kell definiálnunk. A szerszámház definiálása, és az elkészült szerszámház látható az alábbi ábrákon.



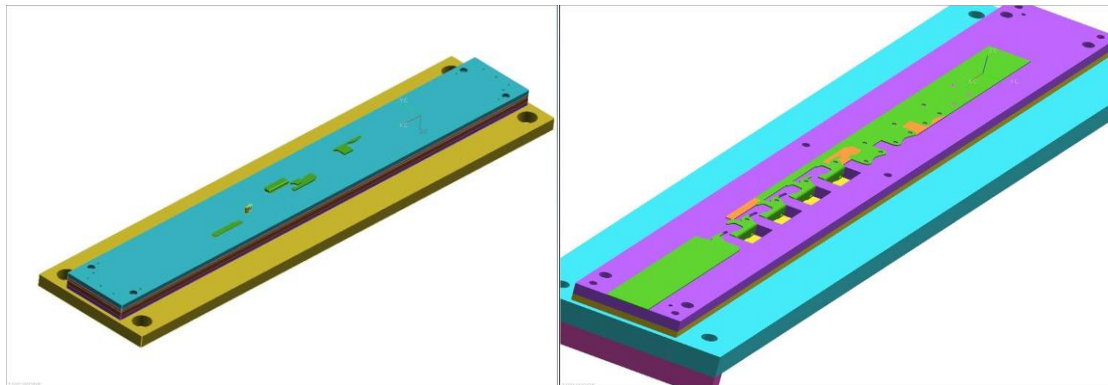
2.26. ábra: Szerszámház definiálása

A már definiált szerszámházba, a folyamat következő lépéseként beillesztjük a szerszám aktív elemeit, minden egyes alakító művelethez. Ennek szemléltetésére az alábbi ábrák szolgálnak.



2.27. ábra: A szerszám aktív elemei

A tervezési folyamat lezárásaként miután kivontuk az aktív elemeket a bélyegtartó lapból, elkészítettük a vágólap áttöréseket, és az egyéni elemek definiálásával teljessé tettük lemezalakító sorozatszámunkat, a jobb láthatóság kedvéért részekre bonthatjuk, és szemléletesebben ábrázolhatjuk azokat. Erre példa az alábbi ábra.

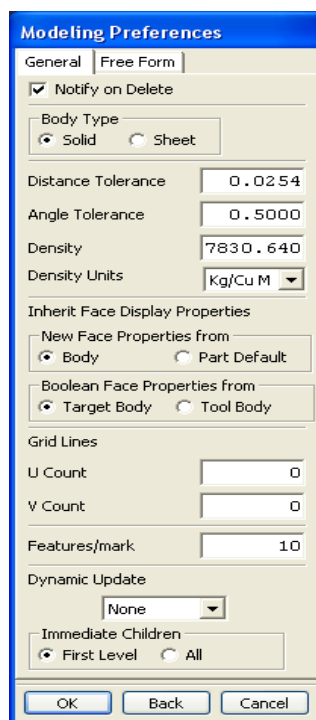


2.28. ábra: Felső és alsó szerszámfél a sávtervvel

2.11 Különleges feladatok megoldása

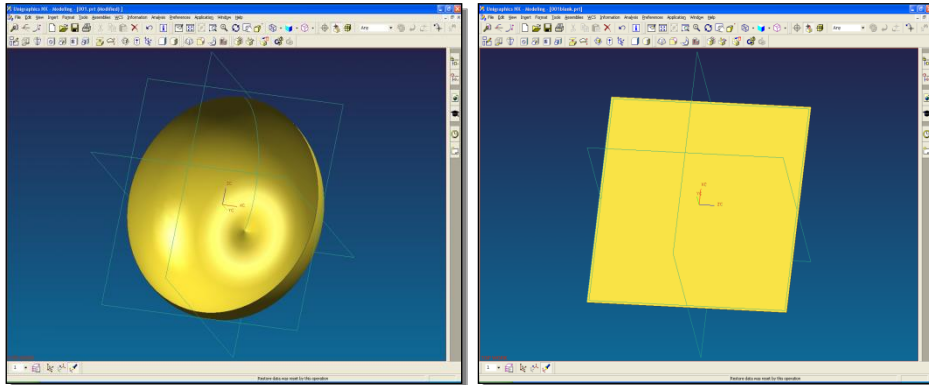
Olyan esetekben, amikor szimulációs programok számára készítünk geometriát, vastagság nélküli lemezeket (shell elemeket) kell rajzolnunk, azért hogy a végeleemes szimulációs rendszer a bemeneti geometriát értelmezni tudja. Ezt is megoldhatjuk a Unigraphics NX programban. Mindössze egy beállítást kell alkalmaznunk, és ezután a szokásos rajzelemek alkalmazásával elkészíthető az objektum. Esetünkben az ESI group által fejlesztett PAM STAMP végeleemes szimulációs programhoz készítettünk geometriákat.

A feladathoz modelling módban a preferences menüben a modelling sorra kell kattintani. Itt felbukkan az alábbi ablak.



2.29. ábra: Modellezés beállításai

A felbukkanó ablakban a Body type részben a Solid helyett a sheet gombot kiválasztva, sheet material funkcióban dolgozunk. Az ok gombbal bezárjuk az ablakot, és elkezdhetjük a szerkesztést. Az alábbi ábrákon látható egy mélyhúzott darab, és terítéke.



2.30. ábra: mélyhúzott lemez, és annak terítéke

Amikor végeselemes szimulációhoz készítünk terveket, a fenti irányelveket mindig szem előtt kell tartanunk. Az elkészített objektum csak akkor használható tovább, ha sheet funkcióban állítottuk elő, mert ebben az esetben lesz „nulla” vastagságú, azaz úgy tekinthetjük, mint egy meghatározott, matematikailag leírható határfelületet. A Unigraphics NX különféle kimeneteket képes exportálni. Ezek között szerepel az IGES, és a STEP formátum, mely kiválóan alkalmassá teszi a programot arra, hogy a végeselemes programok számára leginkább használható bemeneteket állítsa elő.



2.12 Az integráció jövője

Az eddig leírtakból is levonható az a következtetés, hogy a CAD rendszerek integrációja már napjainkban is magas fokú, de a fejlődés töretlennek tűnik. A számítógépes tervezési folyamatok elsődleges célja virtuális termékként funkcionáló CAD modellek előállítás és virtuális tesztelése különböző számítógépes szimulációk segítségével. Ezen a módon, a fizikai prototípusok kiküszöbölésével, jelentősen lehet csökkenteni a termékek piacra kerülésének idejét és a tervezési költségeket is. A virtuális termékmodellelés egyre magasabb szintű megvalósításához további funkciók integrálása válik szükségessé. Ilyen funkciók lehetnek az integráció következő lehetséges célpontjai:

- áramlástan, akusztikai szimuláció,
- továbbfejlesztett termék vizualizáció,
- interaktív termék leírások,
- egyre intelligensebb termék építőelemek alkalmazása [4].

Az egyre összetettebb tervezési és szimulációs feladatok elvégzéséhez egyre szélesebb körű együttműködésre van szükség. Az együttműködés a következő területeken valósulhat meg:

- különböző szoftverek között,
- hálózatra kapcsolt számítógépek között,
- fizikailag távol lévő szervezetek között.

Szükség van különböző szoftverek, akár különböző CAD rendszerek együttműködésére, amihez elengedhetetlen az asszociatív adatcsere megvalósítása. Erre már napjainkban is rendelkezésre állnak olyan adatkommunikációs programmodulok, melyek lehetővé teszik eltérő topológiájú adatok asszociatív kommunikációját a különböző rendszerek között. Az egyre bonyolódó megjelenítési (jellemzően animációs) és szimulációs feladatokhoz sokszor már nem elegendőek egyetlen számítógép erőforrásai. A jövőben várható a CAD rendszerek körében is, hogy széles körben elterjed az elosztott számítások alkalmazása a napi gyakorlatban. Ilyen esetekben a helyi hálózaton működő számítógépek a számításokat egymás között elosztva végzik el az adott feladatot [4].

Végezetül egyre jellemzőbb lesz, hogy globalizálódó világunkban, egymástól távol lévő szervezeteknek kell szorosan együttműködniük. Az együttműködésnek megfelelő közeget biztosít az Internet. Ehhez alkalmazkodva a modern CAD rendszerek támogatják az Internetes szabványokat (pl. HTML alapú jelentések, modellek, eredmények publikálása a WEB-en). Ebbe az irányba mutat, hogy egyes CAD rendszerek már jelenleg is WEB böngésző funkciókat integráltak magukba, hogy még közvetlenebbé tegyék az Internet használatát a napi tervezőmunkában [4].



3 A FORGÁCSOLÁS GYÁRTÁSTECHNOLÓGIAI ALAPJAI

Egy késztermék gyártási folyamata három részfolyamatra bontható:

- előgyártás,
- alkatrészgyártás,
- szerelés.

Az előterméket sok módszerrel állítják elő, leggyakrabban képlékenyalakítással. A képlékenyalakítás végtermékét használja fel az alkatrészgyártó, aki egy megfelelően megválasztott megmunkáló eljárás alkalmazásával éri el, hogy az alkatrész a műhelyrajznak megfelelő alakot elérje. Mint ismeretes a gépészetben minden szabványos, így a megmunkáló eljárások is szabványosak. A szabványok az összes megmunkáló eljárást hat főcsoportra osztják:

- alaklétesítés,
- képlékeny alakítás,
- szétválasztás,
- egyesítés,
- bevonás,
- anyagtulajdonság megváltoztatása.

A főcsoportok természetesen további részekre osztódnak, a minket érdeklő forgácsolás a *szétválasztás* főcsoportba tartozik.

A forgácsolás két jól elkülöníthető csoportra osztható:

- forgácsolás mértanilag határozott élű szerszámmal,
- forgácsolás mértanilag határozatlan élű szerszámmal.

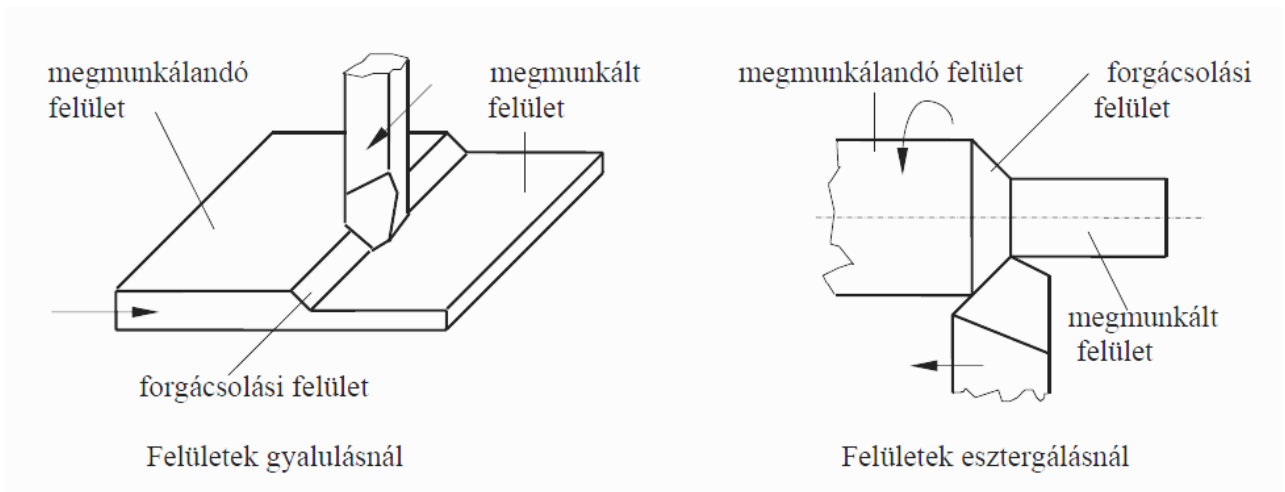
Az első csoportba tartozik például az *esztergálás*, marás, *gyalulás*, *fúrás* stb., míg a másodikba a *köszörülés* és a *polírozás* [10].

3.1 Alapfogalmak

A forgácsolás olyan megmunkálás, amelynek során a munkadarab kívánt alakját, méreteit és előírt felületi minőségét úgy érjük el, hogy a rajta lévő anyagfölsőleget egy forgácsoló szerszámmal kis anyagrészekké (forgácsok) formájában leválasztjuk.

A forgácsolás jellemző felületei (3.1. ábra):

- megmunkálandó felület: az a felület, amelynél az anyagfölsőleget el kell távolítani,
- megmunkált felület: amelyről az anyagfölsőleget részben vagy egészben eltávolítottuk,
- forgácsolási felület: amelyen a forgácseltávolítás éppen folyamatban van [11].



3.1. ábra: A forgácsolás felületei

Forrás: [11]

3.1.1 Forgácsolás mozgásvizonyai [10]

A forgácsolás alapvető jellemzője, hogy az előgyártmányról egy arra alkalmas szerszám segítségével, forgács formájában távolítjuk el az anyagfelesleget. A művelethez a szerszámon kívül szükség van még a szerszámgépre is, amely a munkadarab és a szerszám relatív mozgását biztosítja.

A sikeres forgácsolási művelethez a munkadarab és a szerszám közötti relatív mozgásra van szükség (3.2. ábra).



3.2. ábra: Mozgásvizonyok esztergálás esetén

Forrás: [12]



A relatív mozgásokat mindig egy állónak képzelt munkadarabhoz viszonyítjuk, függetlenül attól, hogy a tényleges mozgások hogyan is valósulnak meg. A forgácsolásnál előforduló mozgásfajták:

- forgácsoló-,
- előtoló-,
- működő-,
- hozzáállító,
- fogásvételi,
- utánállító mozgás.

A **forgácsoló főmozgás** előtoló mozgás nélkül egyszeri forgácsleválasztást tesz lehetővé a munkadarab egy fordulata vagy lökete alatt. A forgácsoló főmozgás lehet:

- egyenes vonalú (pl. gyalulás, vésés, üregelés),
- kör alakú (pl. esztergálás, marás, fúrás, köszörülés),
- görbe vonalú (nem forgástestek esztergálása, menetfúrás, másoló gyalulás).

A forgácsoló főmozgás sebessége a *forgácsoló sebesség*, amely a forgácsolóél kiválasztott pontjának pillanatnyi sebessége a munkadarabhoz viszonyítva a forgácsoló irányban. Jele v , mértékegysége pedig m/min vagy m/s. Általában a legnagyobb munkadarab- vagy szerszámtmérőre számítjuk.

Az **előtoló mozgás** a forgácsoló főmozgással együtt folyamatos vagy többszöri forgácsleválasztást biztosít több fordulat vagy több löket alatt. Az előtoló mozgás lehet:

- egyenes vonalú folyamatos (pl. esztergálás, marás, fúrás),
- egyenes vonalú szakaszos (pl. gyalulás, vésés, síkköszörülés),
- kör alakú szakaszos (gyalulás vagy vésés kör alakú felületen),
- görbe vonalú folyamatos (pl. másolóesztergálás, másolómarás),
- görbe vonalú szakaszos (másológyalulás, másolóvésés).

Az előtoló mozgás egy adott pontban értelmezett pillanatnyi iránya az *előtolóirány*, amelynek értékét az *előtolóirány-szög* (φ) határozza meg. Az *előtolóirány-szög* a forgácsolóirány és az előtolóirány által bezárt szög. Az előtolómozgás sebessége az *előtolósebesség*, melynek jele: v_f , mértékegysége pedig m/min, mm/min vagy mm/s lehet. Az előtolómozgásnak egy fordulatra vagy löketre vonatkoztatott értéke az *előtolás*, jele: f , mértékegysége pedig mm/fordulat, mm/löket.

A **működőmozgás** tulajdonképpen a forgácsolómozgás és az előtolómozgás eredője. Ebből következik, hogy ha nincs előtolómozgás (pl. üregeléskor), akkor a forgácsolómozgás és a működőmozgás egybeesik. A működőmozgás irányát a *működőirány-szöggel* (η) jellemezzük. A működőmozgás sebessége a *működősebesség*, jele: v_e .

A **hozzáállító-mozgás** az a mozgás, amellyel a forgácsolás megkezdése előtt a szerszámot a munkadarabhoz állítjuk.

A **fogásvételi mozgás** az a mozgás a darab és a szerszám között, amellyel a leválasztandó anyagréteg vastagságát beállítjuk. A fogásvételi mozgás eredménye a *fogásmélység*, amelynek jele: *a*, mértékegysége: mm.

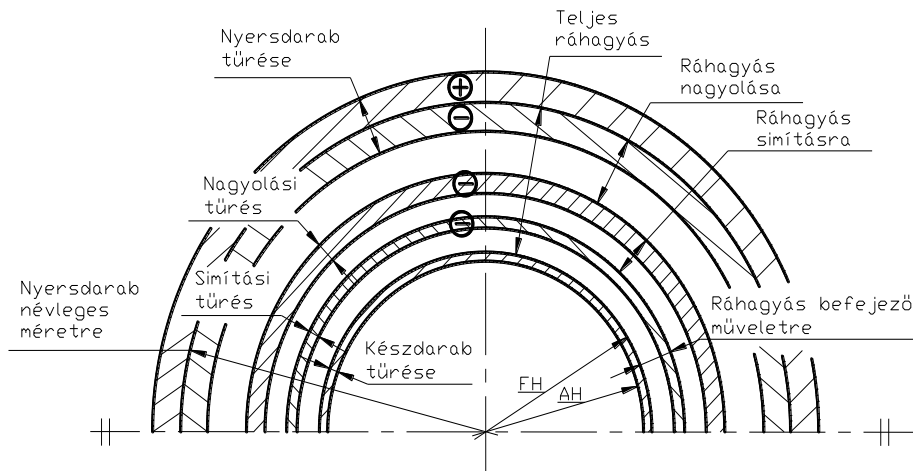
Az **utánállítómozgás** egy korrekciós, hibakiigazító mozgás a darab és a szerszám között.

3.1.2 Forgácsolási ráhagyás [13, 14]

A ráhagyás a hibák fedezésére szolgáló anyagréteg vastagság. A hibás réteget le kell munkálni a munkadarabról. A hibák lehetnek mérethiba, alakhiba, helyzethiba, felfogási hiba és bázismegválasztási hiba. Ezeket a hibákat lehetőleg ki kell küszöbölni. Feleslegesen nagy ráhagyást nem szabad hagyni, mert túl sok munkába kerül az eltávolítása és ez jelentősen megdrágítja a gyártást. Ügyelni kell azonban arra, hogy a ráhagyás fedezze a hibás anyagréteget. Megkülönböztetjük a nagyolási és a simítási ráhagyást, mivel nagyoláskor az a célunk, hogy a felesleges anyagréteget minél rövidebb idő alatt eltávolítsuk, viszont simításkor a méretpontosság és az előírt felületi érdesség biztosítása a feladatunk.

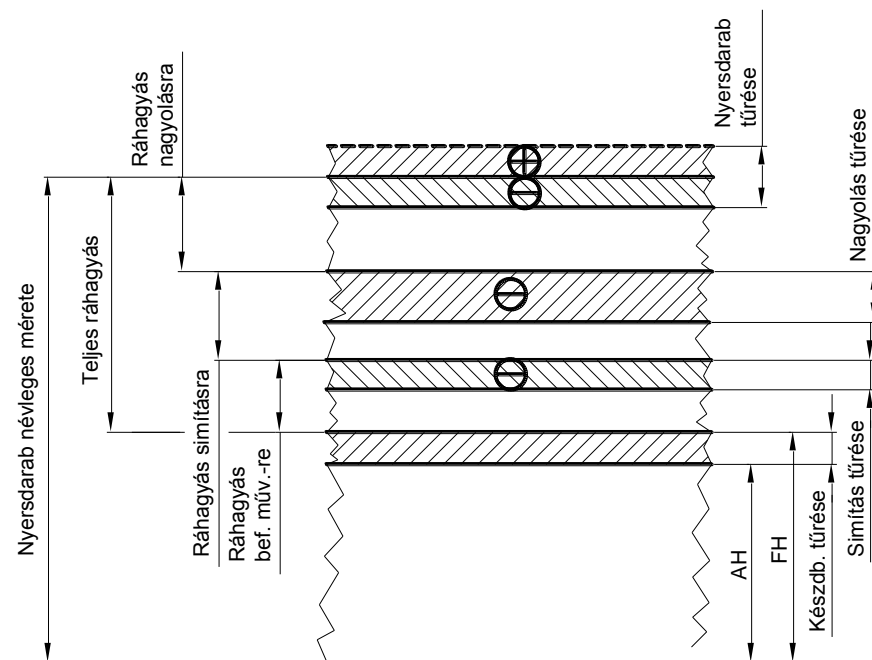
Ahhoz, hogy megértsük a ráhagyás számítását, néhány alapvető fogalmat ismernünk kell:

- A **teljes ráhagyás** a nyersdarabon biztosítandó ráhagyás és egyenlő azzal az anyagréteg vastagsággal, amelyet a sorra kerülő összes művelettel eltávolítunk. Ezzel kell nagyobbítani a kész darab külső méreteit, vagy kicsinyíteni a belső méreteket, hogy megkapjuk a nyersdarab méreteit (3.3. ábra és 3.4. ábra).
- A **műveleti ráhagyás** az az anyagréteg vastagság, amelyet az adott művelet alkalmazásával a munkadarabról eltávolítunk, ez történhet egy fogásban is, de ha túl nagy az értéke, akkor több fogásra osztjuk fel. A műveleti ráhagyás tehát nem foglalja magában a még következő összes megmunkálásokhoz szükséges ráhagyásokat, hanem csak az éppen soron lévő műveletét.
- A **munkadarab ráhagyása** a még soron lévő összes művelet ráhagyásainak összege, ez a megmunkálási állapotra jellemző összegzett ráhagyás. Ennek kiszámítása szükséges a műveleti méret meghatározásához.



3.3. ábra: A teljes ráhagyás alakulása külső hengeres felületen

Forrás: [15]



3.4. ábra: A teljes ráhgnyás alakulása síkfelületen

Forrás: [15]

- A **műveleti méret** az a méret, amelyre a munkadarabot adott művelettel el kell készíteni, hogy a még sorra kerülő műveletek ráhgnyásai a munkadarabon rajta legyenek. Külső méreteken a műveleti méretet úgy kapjuk, hogy a kész mérethez hozzáadjuk a még sorra kerülő műveletek összegzett ráhgnyását. Belső méretek esetén pedig a kész méretből levonjuk az összegzett ráhgnyást.
- A **műveleti tűrés** a műveleti méret megengedett eltérése, ez egyben a ráhgnyás tűrése is. A ráhgnyásnak ugyanis biztosítani kell a műveleti hibák fedezését, tehát szükséges, hogy méretszóródása ne haladjon meg meghatározott értéket.

A ráhgnyásokat rendszerint „egy oldalra” számítjuk és a megmunkált felületre merőleges irányban kell elképzelni és mérni. Hengeres felületeken a ráhgnyást átmérőre adják meg, tehát mindkét oldalra együttesen számítják ki.

A ráhgnyások megállapításakor meg kell találni azt az optimumot, amely a minőségi és gazdaságossági feltételeket kielégíti. A teljes és a műveleti ráhgnyások helyes megállapítása nagymértékben gazdaságossági kérdés. A helytelen ráhgnyás hatással van:

- **az anyaggazdálkodásra**, mert a nagy ráhgnyások többletanyag fogyasztást okoznak, a kis ráhgnyások miatt pedig selejt lesz a darab.
- **a termelékenységre**, mert a nagy ráhgnyások felesleges fogásokat kívánnak, tehát hosszabbak a ráfordított megmunkálási idők. A túl kicsi ráhgnyások a mellékidőt növelik, mert miattuk óvatosabban kell a beállításokat elvégezni a szerszámgépen.
- **a szerszámgazdálkodásra**, mert a nagy ráhgnyások nagyobb szerszámkopást, ezáltal nagyobb szerszámfogyasztást okoznak.
- **az energiagazdálkodásra**, mert a nagy ráhgnyások növelik az energiafogyasztást.



A munkadarab méretei minden művelet után tartalmazzák a következő műveletek ráhagyásait, vagy pedig az utolsó műveletben a kész alkatrész méreteit. A ráhagyás növekszik a munkadarab méreteivel, mert a megmunkálási hibák, sőt a deformációk és vetemedések is növekszenek a munkadarab méreteivel. A ráhagyások helyes értéke a hibák alapján számítható. A hibákat műveletről műveletre csökkentjük, hogy az utolsó fogásban a végleges méreteket megvalósíthassuk. Ezért a ráhagyások is csökkennek műveletről műveletre és csökkennek a műveleti méretek tűrései is. A munkadarab előző műveletből örökölt hibái, amelyeket a soron lévő műveletben el kell tüntetni a következők:

- Az előző megmunkálásból származó felületi réteg anyagszerkezeti hibái és a felület érdessége (mikroegyenletlenségei). Ezek együtt alkotják az ún. hibás felületi réteget.
- Az előző megmunkálás mérethibái.
- Az előző megmunkálásból származó alak- és helyzethibák.

A ráhagyás meghatározásakor figyelembe kell venni a soron lévő művelet hibáit is, melyek a következők:

- Helyzetmeghatározási hibák: bázismegválasztási és felfogási hibák;
- Megmunkálási hibák.

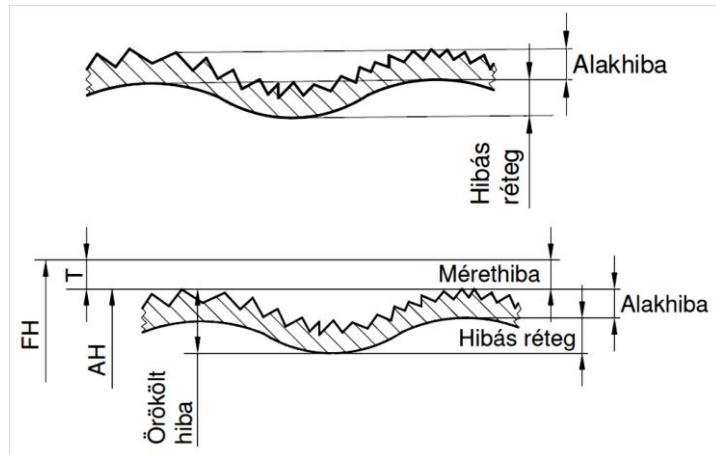
Ha a műveleti ráhagyás megállapításakor számításba veendő „örökölt” és „soron lévő” hibáknak megfelelő anyagrétegeket külön – külön jelöljük, akkor a ráhagyás hat összetevő rétegvastagság összegeként képzelhető el (A képletben „e” indexszel az előző megmunkálásból örökölt hibáknak megfelelő anyagréteg vastagságokat, míg „s” indexszel a soron lévő megmunkálás hibáinak megfelelő anyagrétegeket jelöltük.):

$$R_m = R_{eh} + R_{ea} + R_{em} + R_{sb} + R_{sf} + R_{sm} \quad (3.1)$$

Ahol:

- R_{eh} : a hibás felületi réteg,
- R_{ea} : az előző megmunkálás alak- és helyzethibája,
- R_{em} : az előző művelet mérethibája illetve tűrése,
- R_{sb} : a soron lévő műveletben a bázismegválasztási hiba,
- R_{sf} : a soron lévő műveletben a felfogási hiba,
- R_{sm} : a soron lévő művelet megmunkálási hibájának megfelelő anyagréteg vastagsága.

Az R_{eh} a hibás felületi réteg vastagsága változik az előző művelet előállítási módja szerint, de az adott megmunkálásra jellemző értékét emiatt számításainkban tűrésként ϑ_h -val jelölhetjük. Az R_{ea} az előző művelet alakhibájának megfelelő rétegvastagság éppen egyenlő az előző megmunkálás ϑ_{ea} alaktűrésével, feltételezve, hogy az előző megmunkálás után minden munkadarabot szabályszerűen ellenőriztek és csak a tűrésen belül alakhibás darabokat továbbították a következő műveletre. Az R_{em} előző művelet mérethibájának megfelelő rétegvastagság egyenlő az előző műveleti méret ϑ_{em} tűrésével, ugyancsak feltételezve, hogy minden darabot szabályosan ellenőriztek. Az „örökölt” hibák tehát tűrésként ismertek. Beszámításuk szükségessége az 3.5. ábra mutatja. Az ábrán az alakhibát hullámosság ábrázolja, a hibás felületi réteget pedig a felület érdessége és az alatta lévő anyaghibás réteg. Az ábra felső képe a felület helyzetét a méret felső határán, az alsó képe pedig az alsó határán mutatja.

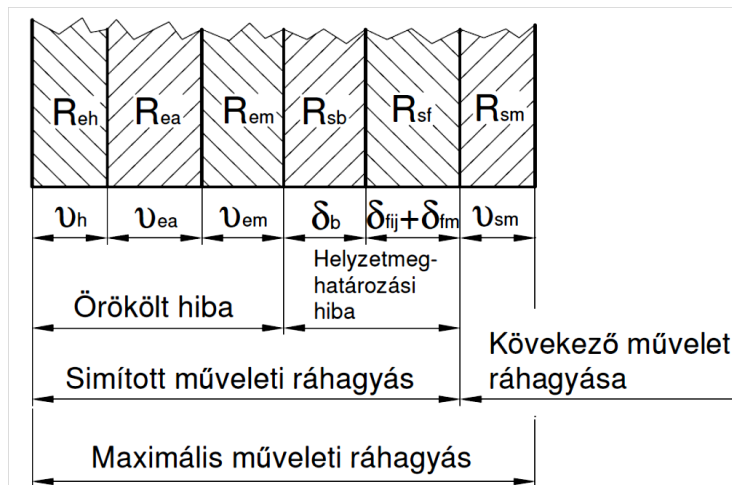


3.5. ábra: Az előző műveletből „örökölt” hibák

Forrás: [15]

Az R_{sb} a soron lévő művelet bázismegválasztási hibáját számításban vevő rétegvastagság, éppen egyenlő a δ_b bázismegválasztás hibájával, vagyis a bázisméret tűrése alapján számított értékével. Az R_{sf} soron lévő művelet felfogási hibájának megfelelő anyagréteg vastagságát csak akkor kell számításba venni a ráhagyás megállapításakor, ha a felfogási bázis és az ülékrendszer illeszkedésének játéka van, akkor egyenlő a δ_{fij} hibával. Ha beállított gépen folyik a munka ekkor egyenlő a gép, szerszám vagy készülék δ_{fm} beállítási hibájával. Az R_{sm} a soron lévő művelet megmunkálási hibájának megfelelő rétegvastagságát, bár a ráhagyáshoz tartozik, nem számítjuk be a ráhagyás értékébe, mert az azt követő művelet ráhagyásánál vesszük figyelembe, mint „előző műveleti méret tűrését”. Minthogy a műveleti méret tűrését anyagba irányulóan adjuk meg, a tűrés is növeli a ráhagyást. A közbenső műveleteknél a ϑ_{sm} tűrés egyenlő a megmunkálás ϑ_{gm} átlagos gazdaságos pontosságával, az utolsó műveletnél egyenlő a kész méret tűréseivel.

A ráhagyások összetevőinek, illetve a műveleti ráhagyásnak az „örökölt” és a „soron lévő” hibák alapján való megállapítása a 3.6. ábra mutatja. Látható, hogy a soron lévő megmunkálás mérettűrését mindig a következő művelet ráhagyásához számítjuk.



3.6. ábra: A műveleti ráhagyás megállapításának vázlatja

Forrás: [15]

A műveleti ráhagyás számított értékének számítása:

$$R_m = v_h + v_{ea} + v_{em} + \delta_b + (\delta_{fij} + \delta_{fm}) \quad (3.2)$$

A műveleti ráhagyás maximális értékének számítása:

$$R_{m \max} = v_h + v_{ea} + v_{em} + \delta_b + (\delta_{fij} + \delta_{fm}) + v_{sm} \quad (3.3)$$

A ráhagyások számításában is, az esetenkénti (véletlen) hibák – a valószínűség törvénye szerint – négyzetük gyökével számíthatók, így a számított ráhagyás:

$$R_m = v_h + k \cdot \sqrt{v_{ea}^2 + v_{em}^2 + \delta_b^2 + \delta_f^2} \quad (3.4)$$

$$\delta_f = \delta_{fij} + \delta_{fm} \quad (3.5)$$

Ahol k a hibák eloszlási görbéjének alakai tényezője. Ez számításainkban (forgácsolásnál) $k=1,2$ lehet.

A teljes ráhagyás az összes egymás utáni műveleti ráhagyások összegével egyenlő. A teljes ráhagyás számításakor a nagyolási ráhagyást általában különválasztva számítjuk ki, mert az a teljes ráhagyás nagyobb részét alkotja és rendszerint ennek pontos megállapításától függ a munkadarab megmunkálhatósága.

A teljes ráhagyás számítása:

$$R_t = R_n + \sum_{i=2}^{i=m} R_i = v_{hny} + v_{any} + v_{mny} + \delta_{bn} + \delta_{fn} + \sum_{i=2}^{i=m} R_i \quad (3.6)$$

Vagy az esetenkénti hibákat különválasztva:

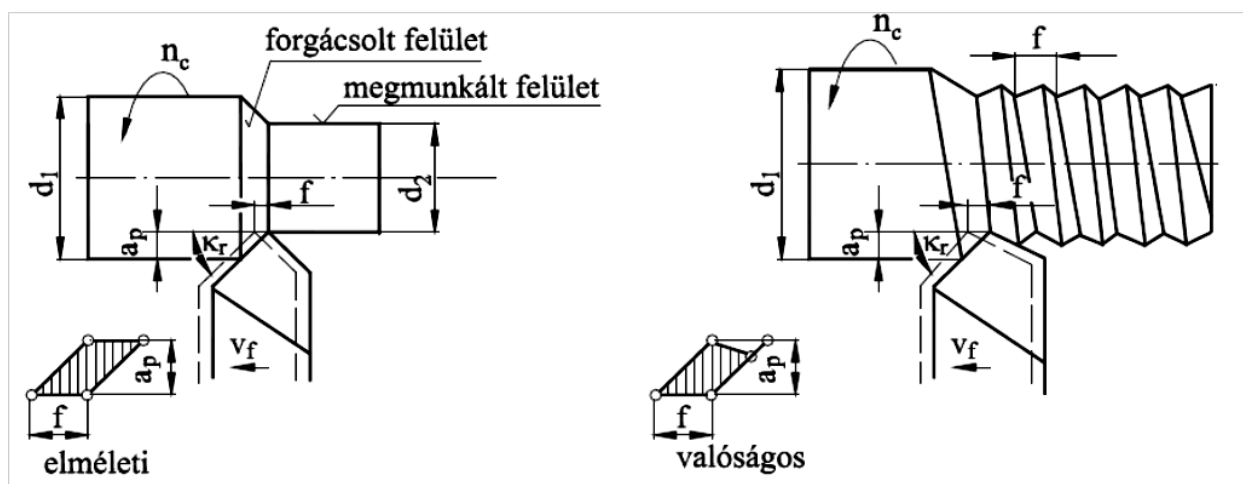
$$R_t = \vartheta_{hny} + k_1 \cdot \sqrt{\vartheta_{any}^2 + \vartheta_{mny}^2 + \delta_{bn}^2 + \delta_{fn}^2} + \sum_{i=2}^{i=m} \left(\vartheta_{hi} + k_i \cdot \sqrt{\vartheta_{ai}^2 + \vartheta_{mi}^2 + \delta_{bi}^2 + \delta_{fi}^2} \right) \quad (3.7)$$

Ahol:

- R_t : a teljes ráhagyás,
- R_n : a nagyolási ráhagyás,
- $\sum R_i$: a többi műveletek ráhagyása,
- ϑ_{hny} : a nyersdarab hibás felületi rétege,
- ϑ_{any} : a nyersdarab alaktűrése,
- ϑ_{mny} : a nyersdarab mérettűrésének anyagba irányuló része,
- δ_{bn} : a bázismegválasztási hiba nagyolásnál,
- δ_{fn} : a felfogási hiba nagyolásnál,
- $i = m$: a műveletek száma a nagyolást is hozzászámítva.

3.1.3 Forgácskeresztmetszet

A forgácsolás során a leválasztott anyagrészek forgács formájában kerülnek eltávolításra. A munkadarab és a szerszám relatív mozgása következtében egy dolgozóréssz egyetlen behatolás során leválasztott anyagrétegnek a forgácsoló irányra merőleges keresztmetszetét forgácskeresztmetszetnek nevezzük. A forgácskeresztmetszet lehet állandó (pl. esztergálásnál) vagy változó (pl. marásnál). A forgácskeresztmetszet értelmezését esztergálásnál a 3.7. ábra mutatja.



3.7. ábra: Az elméleti és valóságos forgácskeresztmetszet esztergáláskor

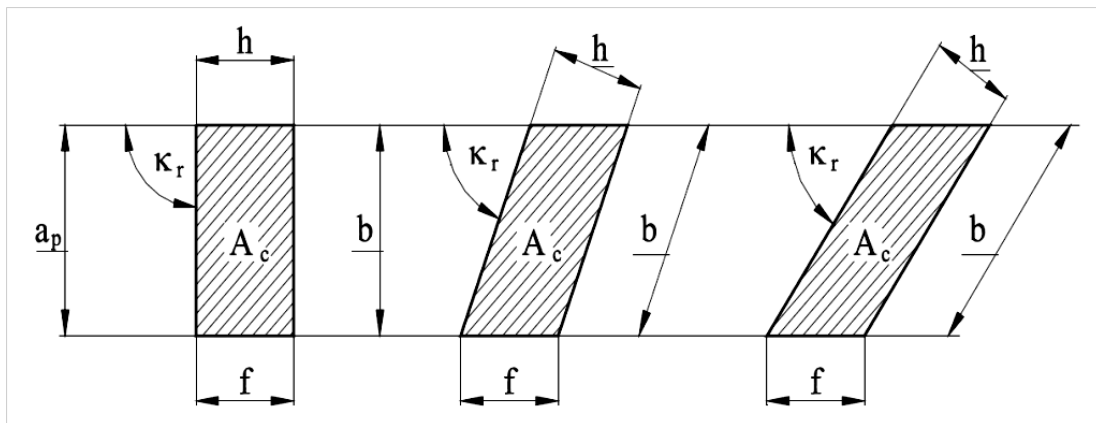
Forrás: [15]

A szerszámkialakítás miatt meg kell különböztetni elméleti és valóságos forgácskeresztmetszetet. Az elméleti keresztmetszet mindig nagyobb, mint a valóságos. A szerszám kialakítása olyan, hogy az anyag egy része mindig a munkadarabon marad előtolási nyomok formájában. A gyakorlati számítások során mindig az elméleti

forgácskeresztmetszettel számolnak az alábbi összefüggés alapján (ahol tehát a_p a fogásmélység és f az előtolás).

$$A_c = a_p \cdot f \text{ [mm}^2\text{]} \quad (3.8)$$

A forgácskeresztmetszet alakja - azonos előtolás és fogásmélység mellett is - különböző lehet aszerint, hogy milyen a forgácsolószerszám kialakítása, azaz mekkora a κ_r főélelhelyezési szög. Ennek kifejezésére két újabb fogalmat kell bevezetni: a b forgácsszélesség és a h forgácsvastagság fogalmát. A 3.8. ábra szemlélteti, hogy változatlan forgácsolási (beállítási) adatok mellett, de változó κ_r szerszámelhelyezési szög mellett, hogyan változik a forgácskeresztmetszet alakja.



3.8. ábra: A forgácskeresztmetszet alakjának változása

Forrás: [15]

A forgácskeresztmetszet nagysága azonban természetesen változatlan, és a b forgácsszélesség és a h forgácsvastagság szorzataként is értelmezhető:

$$A_c = a_p \cdot f = b \cdot h \text{ [mm}^2\text{]} \quad (3.9)$$

Eddig állandó keresztmetszetű forgácsról volt szó. Azonban változó forgácskeresztmetszettel működő eljárásoknál (pl. marásnál) be kell vezetni a közepes forgácsvastagság fogalmát, mert sem a legnagyobb sem a legkisebb forgácsvastagság nem vezetne reális eredményre erő- és teljesítményszámításoknál. A közepes forgácskeresztmetszethez gyakorlati szempontból reálisabb értéknek tekinthető:

$$A_c = b \cdot h_k \text{ [mm}^2\text{]} \quad (3.10)$$

Ahol:

$$h_k = f \cdot \sin \kappa_r \quad (3.11)$$

$$b = \frac{a}{\sin \kappa_r} \quad (3.12)$$



3.1.4 Forgácsoló szerszámok élgeometriája [16-21]

A forgácsolószerszámok a 3.1. táblázat szerint szabályos élgeometriájúak vagy szabálytalan élgeometriájúak lehetnek. Az előbbit határozott élűnek, míg az utóbbit határozatlan élűnek is nevezzük. E két nagy csoport megkülönböztetése azért fontos, mert a két csoporthoz tartozó szerszámok szerkezeti kialakításuk és anyaguk tekintetében is alapvetően eltérőek [15].

3.1. táblázat: Forgácsolószerszámok csoportosítása

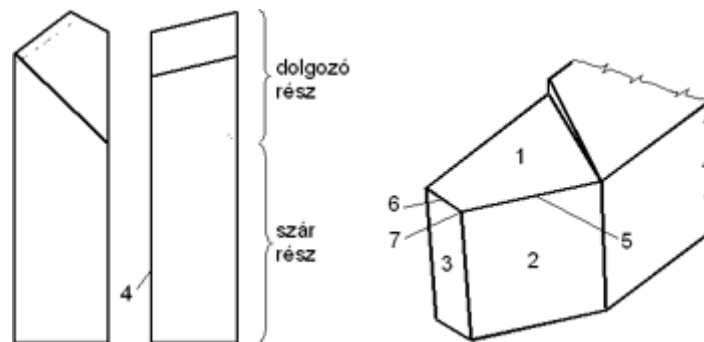
	Egyélű szerszámok	Többélű szerszámok	Sokélű szerszámok
Szabályos élgeometriájú szerszámok	Esztergakések, Gyalukések, Vésőkések, Ütőkések.	Csigafúrók, Süllyesztők, Dörzsárak, Fűrész tárcsa, Üregelő szerszámok, Fogazó szerszámok.	Reszelő szerszámok
Szabálytalan élgeometriájú szerszámok	Egyszemcsés köszörűkorong szabályozó szerszám	Többszemcsés köszörűkorong szabályozó szerszám	Köszörűkorong, Dörzsköszörülő hasáb, Tükörsimító hasáb.

A forgácsoló szerszámok esetén egyértelműen meghatározható élgeometriáról természetesen csak a szabályos élű szerszámok esetén lehet beszélni. De a különböző célú szabályos élű szerszámok kialakítása is igen változatos. Ezért a forgácsoló szerszámmal kapcsolatos fogalmak értelmezését mindig a legegyszerűbb egyélű szerszámon végezzük.

A forgácsoló szerszámoknak két fő részre van: a szár és a dolgozó vagy forgácsoló rész. A forgácsoló részt jellemző felületek, szögek és vonalak összességét, egymáshoz viszonyított helyzetét és számszerű értékeiket összefoglaló néven élgeometriának nevezzük [10].

A dolgozó részen elhelyezkedő szerszámelemek az 3.9. ábra jelölései alapján:

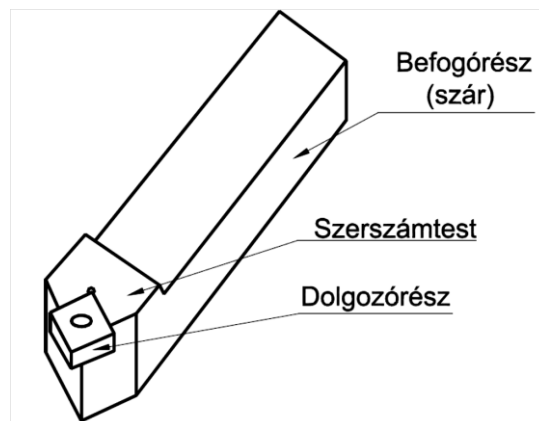
1. homloklap (A_v),
2. hátlap (A_α),
3. mellékhátlap (A'_α),
4. felfekvőlap,
5. főforgácsolóél (S),
6. mellékforgácsolóél (S'),
7. szerszámcsúcs.



3.9. ábra: A dolgozó rész elemei

Forrás: [10]

Azoknál a forgácsoló szerszámoknál, amelyekbe betétkést vagy forgácsolólapkát helyeznek a 3.10. ábra alapján, a dolgozó rész és a befogórész (szár rész) mellett megkülönböztetjük a szerszámtestet is, amelybe forrasztás vagy csavarkötés segítségével a dolgozó részt rögzítik.



3.10. ábra: Három részből álló forgácsoló szerszám

Forrás: [15]

3.1.4.1 Az élgeometria meghatározó rendszerei:

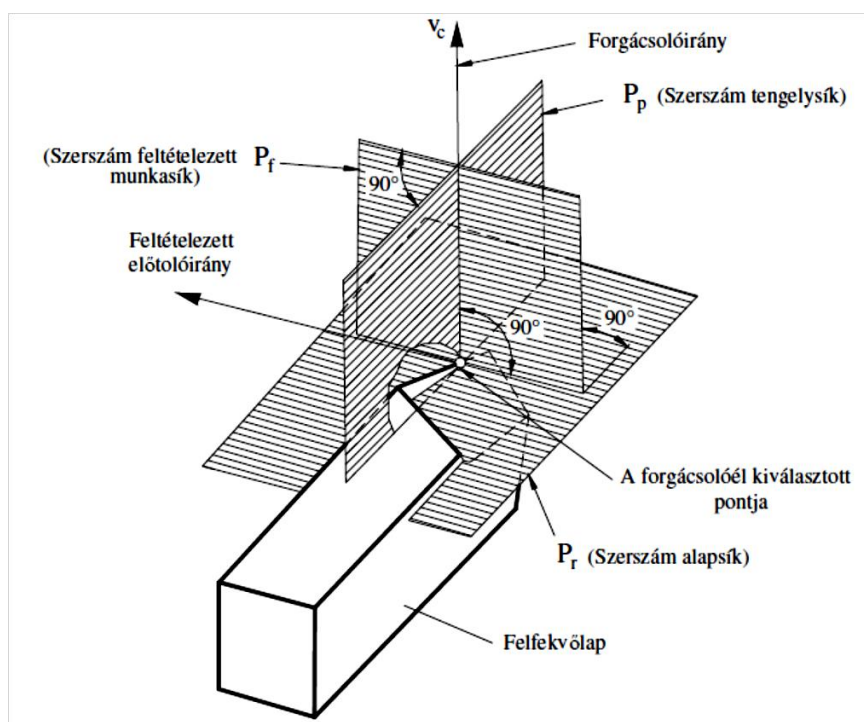
A szerszámok élgeometriájának leírására, a forgácsoló szerszám szögeinek meghatározására térbeli koordináta rendszerekre van szükség, amelyek megválasztásához és lerögzítéséhez figyelembe kell venni a forgácsoláskor végzett mozgásokat. E koordináta rendszerek együttese a meghatározó rendszer. Az MSZ 19600/1-82 szabvány szerint a forgácsoló szerszámok élgeometriájának meghatározásához két meghatározó rendszert használunk: a **szerszám meghatározó rendszert** és a **működő meghatározó rendszert**. Az első rendszert (szokás „szerszám a kézben” rendszernek is nevezni) a szerszám élgeometriájának a szerszám gyártásakor, mérésekor; a második rendszert (szokás „szerszám a gépen” rendszernek is nevezni) pedig a forgácsoló művelet összetett mozgásainak eredőjéhez viszonyítva határozzuk meg.

Mivel a szerszámcsövek és az egyéb geometriai jellemzők a szerszám forgácsoló éle mentén pontról pontra változnak (pl. ha a forgácsolóél ívelt), a meghatározó síkrendszert a forgácsoló élnek arra az egy kiválasztott pontjára kell vonatkoztatni, amelyben a szerszám élgeometriát meg akarjuk határozni. Ha a forgácsolóél ívelt, akkor a meghatározáshoz a

kiválasztott élponthoz tartozó érintőt vagy érintősíkot használjuk. Minden síkot „P” betű és egy azonosító index jelöl: P_s szerszám élsík, ha a kiválasztott pont a fő forgácsoló élen van. Ha pedig a forgácsolóél kiválasztott pontja a mellék forgácsoló élen van, akkor a sík jelét egy vesszővel különböztetjük meg (P'_s szerszám mellékélsík). A síkok jele a működő meghatározó rendszerben egy „e” betűvel (effective = működő, hatásos) egészül ki (P_{se} működő élsík) [16].

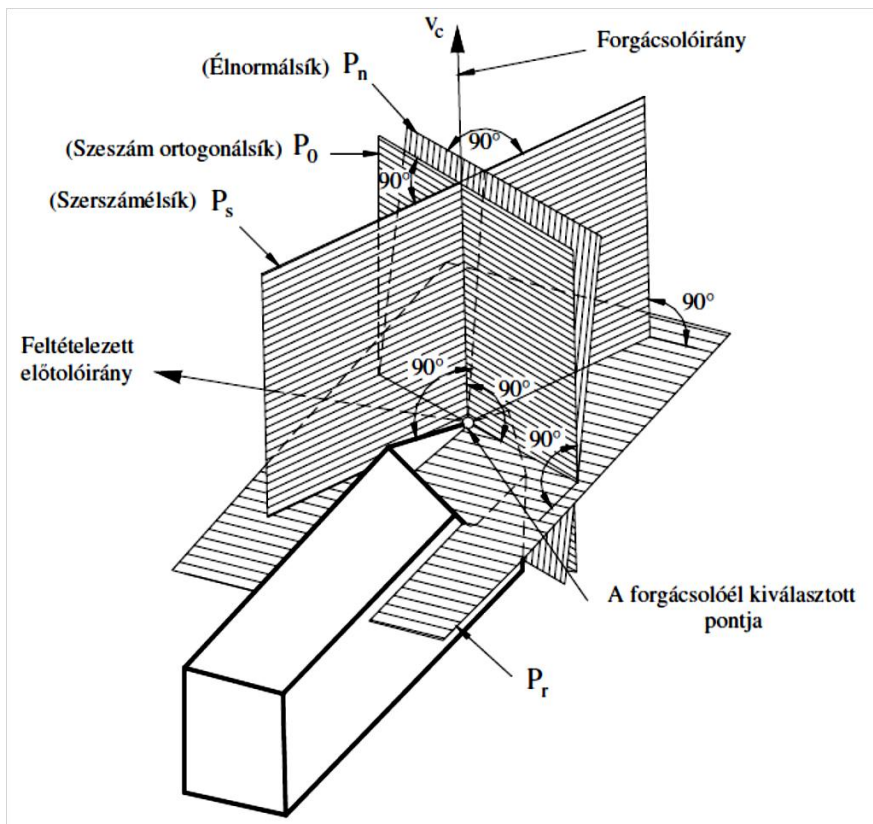
3.1.4.2 Szerszám meghatározó rendszer:

Az axonometrikus 3.11. ábra és a 3.12. ábra egyenes nagyoló képen a főforgácsoló élére vonatkoztatva mutatja a szerszám meghatározó rendszert, koordináta (P_f - munkasík, P_p - tengelysík, P_r - alapsík) és ortogonál (P_o - ortogonálsík, P_s - élsík, P_r - alapsík) síkrendszerben [16].



3.11. ábra: A szerszám meghatározó rendszer síkjai koordináta síkrendszerben

Forrás: [16]



3.12. ábra: A szerszám meghatározó rendszer síkjai ortogonál síkrendszerben

Forrás: [16]

Alapsík (P_r): a forgácsolóél kiválasztott pontjában a szerszám tájolására felhasznált felülettel párhuzamos vagy arra merőleges sík. Az alapsík mindig merőleges a feltételezett főmozgás irányára.

Feltételezett munkasík (P_f): a forgácsolóél kiválasztott pontján átmenő, az alapsíkra merőleges és a forgácsolóirányt és a feltételezett előtolóirányt magába foglaló sík.

Szerszám tengelysík (P_p): a forgácsolóél kiválasztott pontján átmenő sík, amely merőleges az alapsíkra és a feltételezett munkasíkra.

Szerszám élsík (P_s): a forgácsolóél kiválasztott pontjában felvett, a forgácsolóélt érintő sík, amely merőleges az alapsíkra.

Élnormálsík (P_n): a forgácsolóél kiválasztott pontjaiban felvett, a forgácsoló élre merőleges sík.

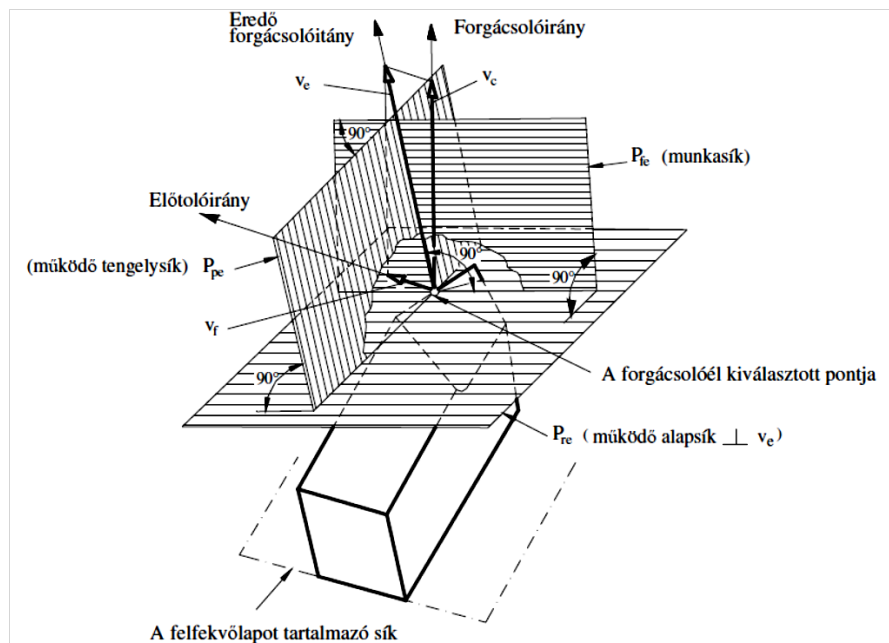
Ortogonalásík (P_o): a forgácsolóél kiválasztott pontján átmenő sík, amely merőleges a szerszámélsíkra (P_s) és a szerszám alapsíkra (P_r).

Homloklap-ortogonalásík (P_g): a forgácsolóél kiválasztott pontján átmenő sík, amely merőleges az alapsíkra és az A_γ homloklapra.

Hátlap-ortogonalásík (P_b): a forgácsolóél kiválasztott pontján átmenő sík, amely merőleges az alapsíkra és az A_α hátlapra.

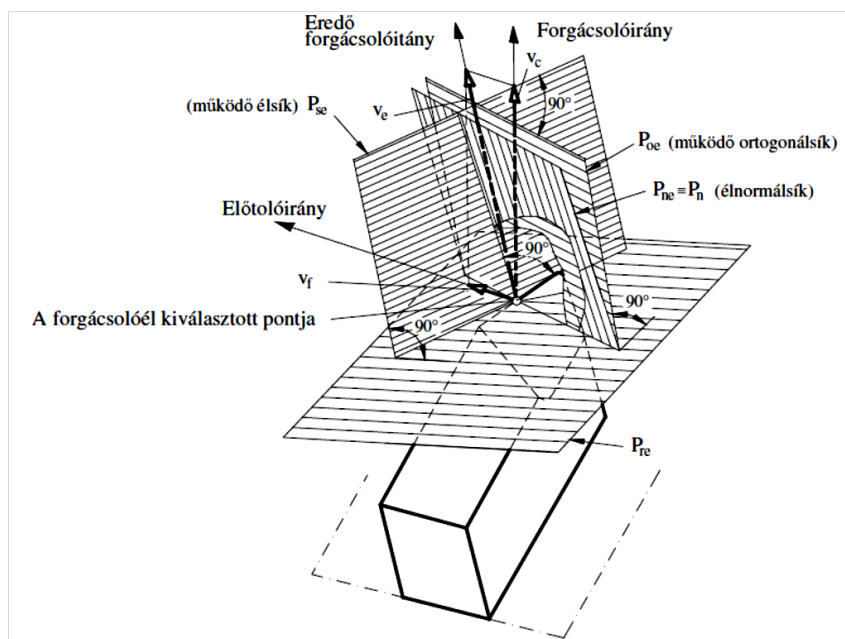
3.1.4.3 Működő meghatározó rendszer:

A szerszámgeometria vizsgálható forgácsolás közben is az ún. **működő meghatározó rendszerben**, melyben a síkok és a szögek a szerszám meghatározó rendszerben megismertekhez hasonlóan értelmezhetők.



3.13. ábra: A működő meghatározó rendszer síkjai koordináta síkrendszerben

Forrás: [16]



3.14. ábra: A működő meghatározó rendszer síkjai ortogonál síkrendszerben

Forrás: [16]



Működő alapsík (P_{re}): a forgácsolóél kiválasztott pontján átmenő, az eredő forgácsoló irányra merőleges sík.

Működő munkasík (P_{fe}): a forgácsolóél kiválasztott pontján átmenő sík, amely tartalmazza a forgácsoló irányt és az előtoló irányt. Ez a sík tehát merőleges P_{re} működő alapsíkra.

Működő tengelysík (P_{pe}): a forgácsolóél kiválasztott pontján átmenő, a P_{re} működő alapsíkra és a P_{fe} működő munkasíkra merőleges sík.

Működő élsík (P_{se}): a forgácsoló él a kiválasztott pontban érintő sík, mely merőleges a P_{re} működő alapsíkra. Ez a sík tehát tartalmazza az eredő forgácsoló irányt.

Élnormál sík (P_{ne}): a működő meghatározó rendszer élnormál síkja azonos a szerszám meghatározó rendszer P_n élnormál síkjával.

Működő ortogonál sík (P_{oe}): a forgácsolóél kiválasztott pontján átmenő, a P_{re} működő alapsíkra és a P_{se} működő élsíkra merőleges sík.

3.1.4.4 Szerszámszög rendszerek:

A forgácsolóék helyzetének egyértelmű meghatározásához négy egymástól független adat (szerszámszög) szükséges. Ezek birtokában minden más szerszámszög megszerkeszthető (Schmidt-szerkesztés) vagy kiszámítható (trigonometrikus és mátrix transzformációs módszer) [16].

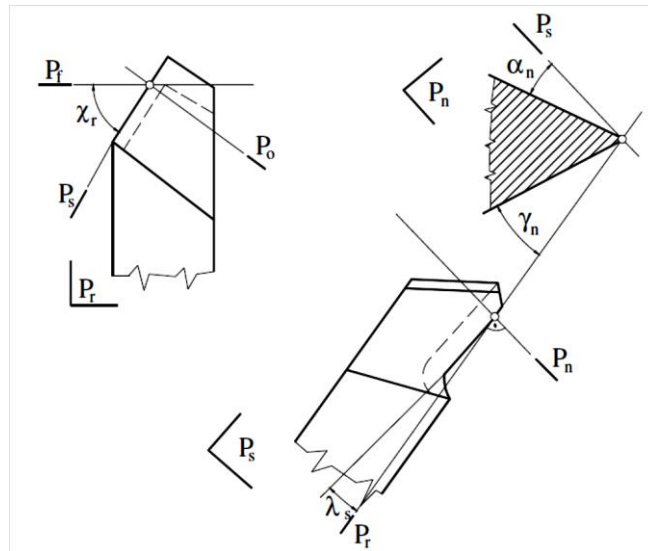
Az, hogy melyik négy, egymástól független szerszámszög megadása a célravezető, függ a szerszám típusától, a szerszám gyártásának, élezésének, szerelésének és ellenőrzésének körülményeitől, azaz attól, hogy a fenti körülmények figyelembevételével kidolgozott szabvány egy-egy konkrét esetre mit ír elő.

A szabványok az MSZ 19600/1-82 előírásai alapján az alábbi négy szerszámszög rendszert különböztetjük meg:

- normál szerszámszög rendszer,
- ortogonál szerszámszög rendszer,
- koordináta szerszámszög rendszer,
- geometriai szerszámszög rendszer [16].

A normál szerszámszög rendszer (N) a forgácsoló élek és szerszámlapok helyzetét, a P_r , P_s , és P_n síkok alkotta ferdeszögű triéderben határozza meg (3.15. ábra).

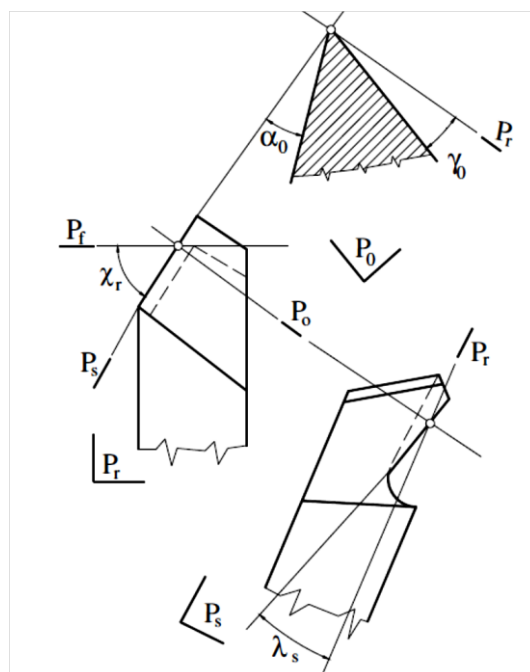
A forgácsolóék helyzetét meghatározó négy adat: κ_r , λ_s , γ_n és α_n . A forgácsoló szerszámok gyártása, élezése és ellenőrzése által támasztott követelményeket ez a rendszer elégíti ki a legjobban. Bármely szerszámnak a normál szerszámszög rendszerben értelmezett szögei bármely egytetemes szerszámgyártó és élezőgépen beállíthatók és szakaszosan ellenőrizhetők. Ebben a rendszerben értelmezett jellemezőknek fizikai tartalmuk van, a forgácsképződésben játszik szerepet, a rendszer minden forgácsoló szerszámmra alkalmazható. A forgácsoló szerszámokat akkor is e rendszer szerint élezzük, ha a szerszámszögek más szerszámszög rendszerben vannak megadva [16].



3.15. ábra: A normál szerszámszög rendszer

Forrás: [16]

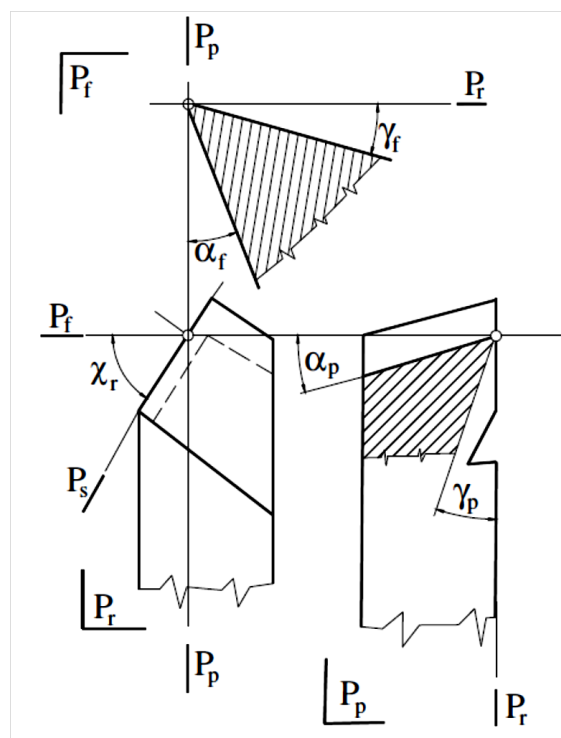
Az ortogonál szerszámszög rendszer (O): a forgácsoló élek és a szerszámlapok helyzetét a P_r , P_s és P_o síkok alkotta derékszögű triéderben határozza meg (3.16. ábra). A forgácsoló ék helyzetét meghatározó négy adat: κ_r , λ_s , γ_o és α_o . E rendszerben értelmezett jellemzők beállítása különösen a hazai szerszámgyártó- és élező gépeken nehézkes és nem egyértelmű, nehézkes a szerszámszögek utólagos ellenőrzése is. Az ortogonál szerszámszög rendszerben értelmezett jellemzőknek fizikai tartalmuk van a forgácsképződésben játszik szerepet és a rendszer minden forgácsoló szerszámra alkalmazható [16].



3.16. ábra: Az ortogonál szerszámszög rendszer

Forrás: [16]

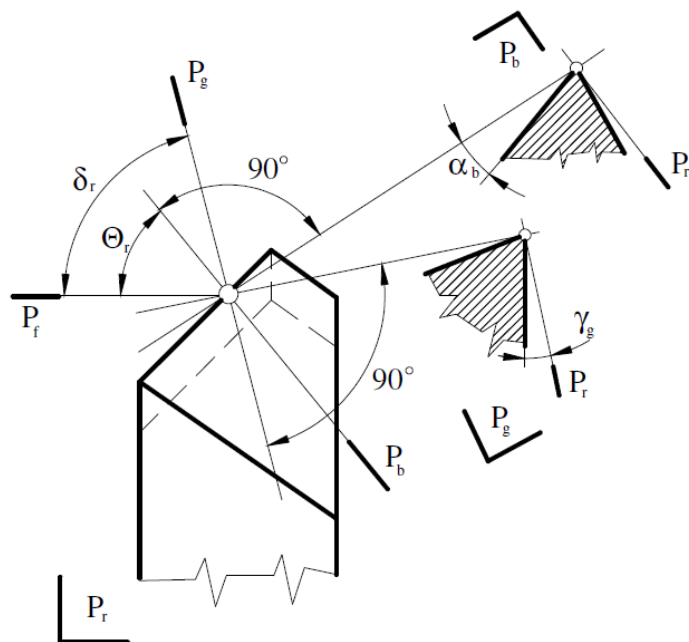
A koordináta szerszámszög rendszer (K): a forgácsoló élek és szerszámlapok helyzetét, a P_r , P_f és P_p síkok alkotta derékszögű triéderben határozza meg (3.17. ábra). A forgácsoló ék helyzetét meghatározó négy adat: γ_f , α_f , γ_p és α_p . Bár az e rendszerben értelmezett jellemzőknek fizikai tartalmuk nincs, a rendszer a forgácsoló szerszámok nagy részének gyártásakor és élezésekor jól alkalmazható, noha a szerszámok gyártás utáni ellenőrzésekor már nehézségek adódnak [16].



3.17. ábra: A koordináta szerszámszög rendszer

Forrás: [16]

A geometriai szerszámszög rendszer (G): a forgácsoló élek és szerszámlapok helyzetét a P_r , P_g és P_b síkok segítségével határozza meg (3.18. ábra). A forgácsoló ék helyzetét meghatározó négy adat: δ_r , θ_r , γ_g és α_b . A szerszám gyártásához nehezen alkalmazható és az e rendszerben értelmezett jellemzők ellenőrzése is nehézkes. A geometriai szerszámszög rendszerben értelmezett jellemzőknek geometriai tartalmuk van, a szerszámot geometriai testként kezeli [16].



3.18. ábra: A geometriai szerszámszög rendszer

Forrás: [16]

Szerszám főél elhelyezési szög (κ_r): a feltételezett munkasík és a szerszámélsík által bezárt szög a szerszámalapsíkban mérve. Vagy a főél alapsíkba vett vetülete és a feltételezett munka síkja által bezárt szög.

Szerszámcsúcscsög (ε_r): a főél és a mellékél által bezárt szög a szerszámalapsíkban mérve.

Mellékél elhelyezési szög (κ_r'): a mellékél alapsíkba vett vetülete és a feltételezett munkasík által bezárt szög.

Terelőszög (λ_s): a szerszám alapsík és a főél által bezárt szög a szerszám élsíkban mérve. A λ_s előjelhelyes szög.

- Ha $\lambda_s = 0$ akkor a főél az alapsíkban van.
- Ha $\lambda_s > 0$ azaz pozitív, ha a szerszámcsúcs az alapsík felett van.
- Ha $\lambda_s < 0$ azaz negatív, ha a szerszámcsúcs az alapsík alatt van.

Szerszám ortogonál homlokszög (γ_o): a szerszámalapsík és a homloklap által bezárt szög a szerszám ortogonál síkban mérve.

Szerszám ortogonál ékszög (β_o): a homloklap és a hátlap által bezárt szög a szerszám ortogonál síkban mérve.

Szerszám ortogonál hátszög (α_o): a szerszámélsík és a hátlap által bezárt szög a szerszám ortogonál síkba mérve.

Normál homlokszög (γ_n): az alapsík és a homloklap által bezárt szög az élnormálsíkban mérve.

Normál ékszög (β_n): a homloklap és a hátlap által bezárt szög az élnormálsíkban mérve.

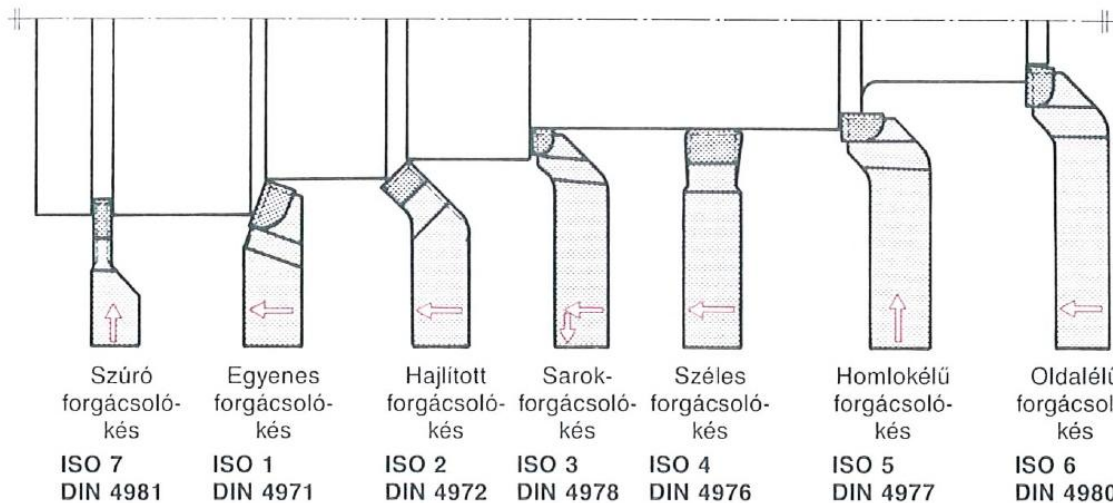
Normál hátszög (α_n): a hátlap és az élsík által bezárt szög az élnormálsíkban mérve.

A fenti szerszámszög rendszerek hasonlóképpen definiálhatók a működő meghatározó rendszerben is.

3.1.4.5 Szabványos esztergakések:

Az esztergakések több jellemző alapján csoportosíthatók [22]:

- A megmunkálás jellege szerint: külső (ISO 1-8 a 3.19. ábra alapján) vagy belső (ISO 8-9 a 3.20. ábra alapján) esztergakések.
- A forgácsolási irány szerint lehet jobbos (R), amellyel jobbról balra lehet forgácsolni, vagy balos (L), amelynél a forgácsolás balról jobbra történik.
- A forgácsoló rész lehet a késszár anyagából kialakított vagy a szárra felforrasztott, illetve mechanikusan rögzített lapka (keményfém, kerámia vagy bevonatolt).
- Az esztergakéseket az aktív, forgácsoló rész és a szár alakja szerint is meg lehet különböztetni. A szár lehet négyzet vagy téglalap, illetve furatkések esetén részben kör keresztmetszetű.



3.19. ábra: Forrasztott keményfémlapkás esztergakések külső felület megmunkálására

Forrás: [23]

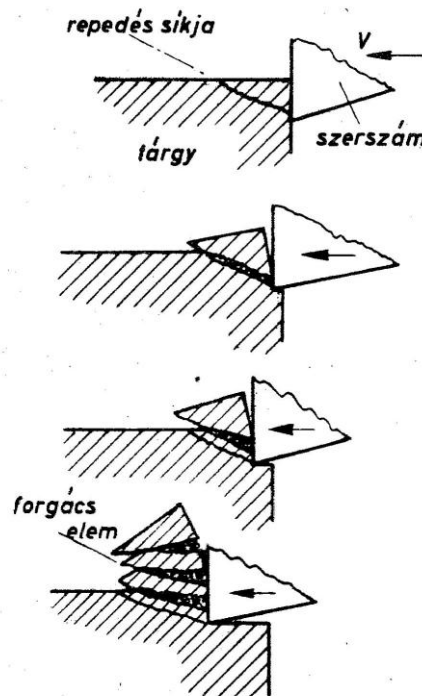


3.20. ábra: Forrasztott keményfémlapkás esztergakések belső felület megmunkálására

Forrás: [23]

3.1.5 Forgácsképződés mechanizmusa [24]

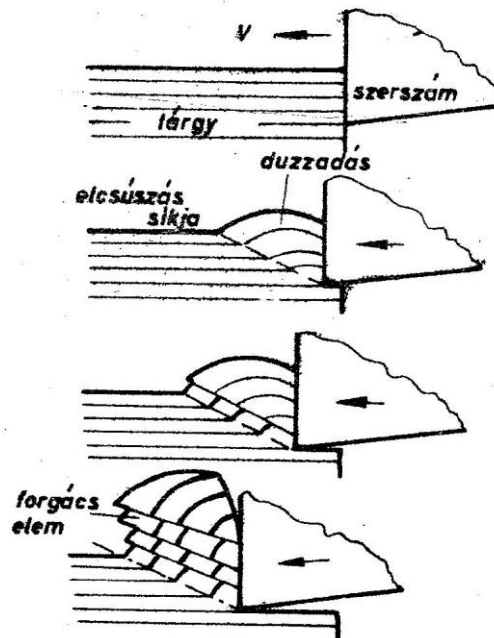
A forgácsolás előnye a képlékenyalakítással szemben, hogy rideg és szívós anyagok egyaránt forgácsolhatók. A forgácstő alakváltozása azonban a kétféle anyag esetén nem egyforma. A rideg anyag forgácsleválásának egymás utáni mozzanatait a 3.21. ábra mutatja. az anyagba behatoló szerszám a felületről lerepeszt egy darabot. Továbbhaladva az él előtti anyagrészeket morzsolja, majd amikor már megint elég nagy felületen fekszik fel a homloklap, újabb forgácselem lerepedése következik be. A forgácsolás tehát egymás követő morzsolások és repesztések sorozatából áll. A forgács a repedt és morzsolts részek laza, vagy részben összetapadó halmaza (tört forgács). A szerszám igénybevétele változó, a felület gödrös.



3.21. ábra: Forgácsleválás rideg anyag esetén

Forrás: [24]

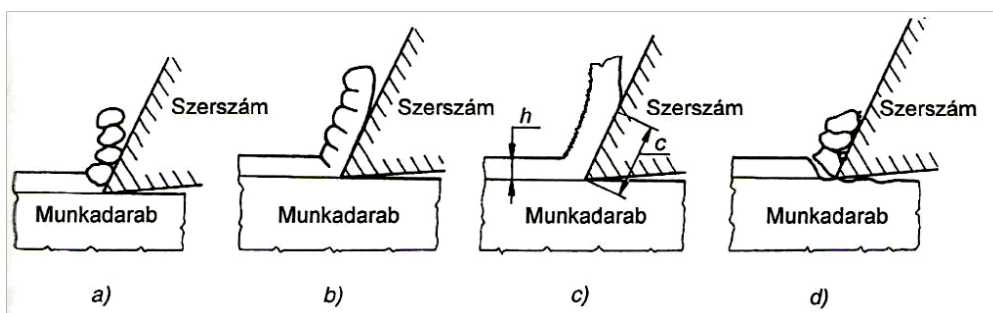
A szívós anyag forgácsának leválását a 3.22. ábra mutatja. az alakváltozás jobb érzékelése érdekében a tárgy oldalfelületére párhuzamos vonalakat rajzoltunk. A szerszám a felület anyagát először duzzasztja, majd egy ferde sík mentén elcsúszás (elnyíródás) következik be, de az elcsúszott rész egyben marad a többivel. Elcsúszás közben egy következő anyagsáv duzzad, majd ez a forgácselem is elcsúszik. A forgácsolás tehát egymást követő duzzasztások és elcsúszások sorozatából áll. A forgács egybefüggő (folyóforgács). A szerszám igénybevétele keveset ingadozik, a felület sima.



3.22. ábra: Forgácsleválás szívós anyag esetén

Forrás: [24]

Amint látjuk rideg anyag forgácsleválása rideg alakváltozással, szívós anyagé pedig képlékeny alakváltozással történik. A gyakorlatban az anyagok nem tökéletesen ridegek vagy szívósak. Így a rideg anyag szövetszerkezetében is lehetnek szívós elemek, amelyek a forgácsot többé-kevésbé összetartják, és a szívós anyagokban is előfordulnak rideg elemek, amelyek miatt repedések léphetnek fel. Valamint meg kell jegyezni, hogy a forgácsleválás módja a forgácsvastagságtól és a sebességtől is függ. Vastag forgács kis sebességű leválasztása esetén szívós anyagról is tört forgácsot kaphatunk, míg vékony forgács és megfelelő nagy sebesség esetén rideg anyag is adhat folyó forgácsot. A leválasztott forgács alakja, mérete tehát függ a megmunkálandó anyagtól és a forgácsolás körülményeitől. A különböző forgácsfajtákat a 3.23. ábra mutatja.



3.23. ábra: Forgács típusok

Forrás: [25]

Elemi forgács (a 3.23. ábra a) része) keletkezik, ha kis forgácsoló sebességgel, kis homlokszögű szerszámmal vastag forgácsot választunk le. A képlékeny alakváltozást

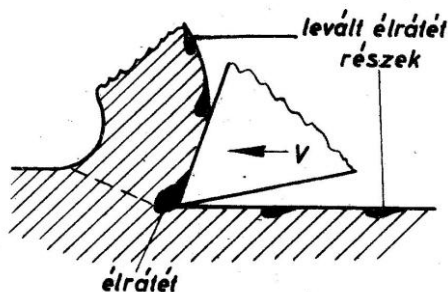
szenvető forgácsselemek hasonló méretűek, és általában nem kapcsolódnak egymáshoz [25].

Lemezes forgács (a 3.23. ábra b) része) szívós anyagokról közepes forgácsoló sebesség esetén, rideg anyagokról csak igen nagy forgácsoló sebesség esetén válik le. A leváló forgácsselemek a keletkező hő és nyomás hatására részlegesen összehegednek. A forgácsnak a szerszám homloklapján lefutó oldala sima, a másik oldalon a forgácsselemek szabad szemmel is jól láthatók [25].

Folyóforgács (a 3.23. ábra c) része) szívós és képlékeny anyagok nagy sebességű megmunkálásakor keletkezik. A folyóforgács is forgácsselemkből áll, de szabad szemmel már nem lehet megkülönböztetni az elcsúszási síkokat [25].

Töredezett forgács (a 3.23. ábra d) része) kemény és rideg anyagok forgácsolásakor keletkezik. A különálló és egymással nem kapcsolódó forgácsselemek térfogata és alakja igen eltérő. Az ilyen forgács keletkezése során képlékeny alakváltozás nincs, a megmunkált felület érdes lesz [25].

A folyó forgács képződésénél bizonyos (kisebb) forgácsolási sebességek mellett a szerszám élén különleges képződményt találunk, ezt élrátétnek vagy élsisaknak nevezzük (3.24. ábra).



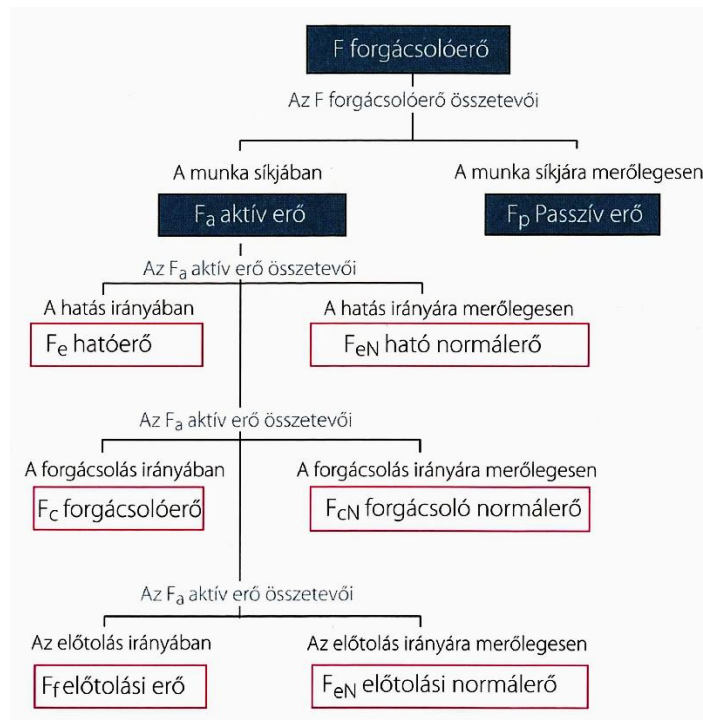
3.24. ábra: Élrátét képződése

Forrás: [24]

Az élrátét úgy képződik, hogy az él előtt torlódó anyagrészek a nagy nyomás hatására összehegednek, és az élre tapadnak. Az élrátét időnként leválik az élről és részben a forgács, részben a tárgy felületébe nyomódva elhagyja a forgácsolás helyét. Az élrátét egyenlőtlen forgácsleválasztást idéz elő, növeli a forgácsolás erőszükségletét és rontja a megmunkált felület minőségét. Bizonyos sebességen felül már nem képződik élrátét, mert a torlódó anyagrészeket a forgács folyamatosan magával sodorja.

3.1.6 Forgácsoló erő

Forgácsolásnál a munkadarabra ható erőket vizsgálják és határozzák meg. A fogalmak meghatározását minden forgácsoló eljárásra vonatkozóan a DIN 6584 szabvány foglalja össze (3.25. ábra).

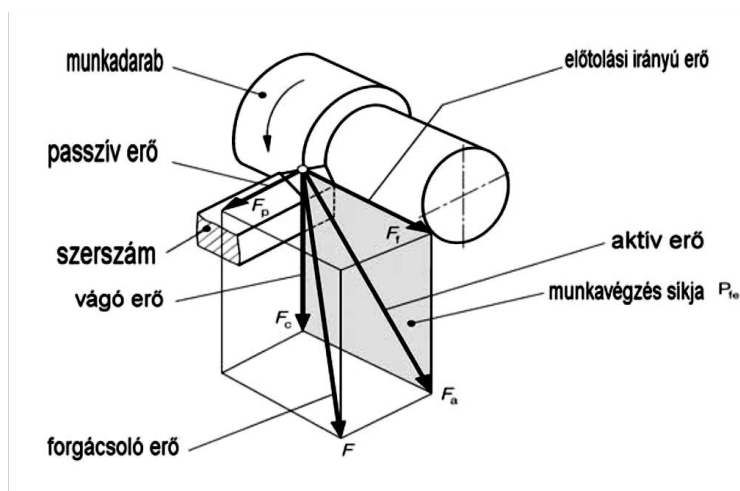


3.25. ábra: A forgácsoló erő összetevőkre történő bontása DIN 6584 szabvány szerint

Forrás: [26]

A forgács leválasztásához szükséges forgácsoló erő (F) a szerszámmra ható térbeli erő, ez az ábra szerint a forgácsolómozgások irányába eső összetevőkre bontható fel (3.26. ábra):

- a főmozgás irányába eső összetevő az F_c főforgácsoló erő,
- az előtolás irányába esik az F_f előtolás irányú erő,
- a fogásvétel irányába pedig az F_p passzív erő mutat.



3.26. ábra: A forgácsoló erő összetevői

Forrás: [12]



A főforgácsoló erő és az előtolás irányú erő eredője a feltételezett munka síkjában az úgynevezett F_a aktív erő. A térbeli erőrendszer eredője a tényleges forgácsoló erő [25]:

$$F = \sqrt{F_a^2 + F_p^2} = \sqrt{F_c^2 + F_f^2 + F_p^2} \quad (3.13)$$

Az F_a aktív erő összetevőinek segítségével határozható meg forgácsolásnál a teljesítmény. Különösen fontos összetevő az F_c főforgácsoló erő, amely a forgács tényleges leválasztása és különösen a teljesítményszámítás, valamint a szerszámgépek erő szerinti méretezése szempontjából jelentős.

Meg kell említeni továbbá az F_f előtolási erő és F_p passzív erőkomponenseket is. Az előtolási erő mértékének és irányának ismerete mind az előtolási teljesítmény meghatározásához, a passzíverővel együtt pedig a szerszámok és szerszámbefogók méretezéséhez szükséges [26].

3.1.6.1 A forgácsoló erő meghatározása

A forgácsoló erő nagyságát általában négyféle módszerrel szokták meghatározni:

- közvetlen erőméréssel,
- számítással,
- teljesítménymérésből visszszámolva,
- táblázatok és nomogramok segítségével.

Ezek közül az erőmérést nem tárgyaljuk, mert ez a mérés technika feladata, a táblázatok és nomogramok használatát szintén nem, mert ezek már valamilyen módon meghatározott erők és paraméterek összefüggését tartalmazzák [10].

A fajlagos forgácsoló erő az egységnyi (1 mm^2) forgácskeresztmetszet leválasztásához szükséges erő. A k_s fajlagos forgácsoló erő nagysága függ a munkadarab anyagminőségétől, mechanikai tulajdonságától (szakítószilárdságától, keménységétől), valamint a h_k közepes forgácsvastagság értékétől. A leggyakrabban használt anyagokra, a közepes forgácsvastagság ismeretében a fajlagos forgácsoló erő táblázatokból, nomogramokból könnyen megállapítható [25].

A főforgácsoló erőt a k_s fajlagos forgácsoló erő (vágási ellenállás) alapján számíthatjuk. Eszerint a forgácsoló erő első közelítésben a forgácsolásra kerülő anyag minőségétől és a forgács keresztmetszetétől függ:

$$F_c = k_s \cdot A_c \quad (3.14)$$

Ahol:

- k_s : a fajlagos forgácsoló erő [N/mm^2],
- A_c : a leválasztásra kerülő forgács keresztmetszete [mm^2], amely az előtolásból (f) és a fogásmélységből (a_p) számítható: $A_c = f \cdot a_p$ vagy a forgács szélesség (b) és a közepes forgácsvastagság (h_k) alapján $A_c = b \cdot h_k$.

A fentiek alapján a forgácsoló erő:



$$F_c = k_s \cdot f \cdot a_p \quad (3.15)$$

illetve:

$$F_c = k_s \cdot b \cdot h_k \quad (3.16)$$

3.1.7 Forgácsoló nyomaték

Általános esetben a forgácsoló nyomaték egyenlő a forgácsoló erő és ennek a forgástengelytől mért távolságának szorzatával. A 3.7. ábra jelölései alapján a forgácsoló nyomaték,

ha a forgácsoló erő a működő élhosszúság felére hat:

$$M = F_c \cdot \left(\frac{d_2}{2} + \frac{a_p}{2} \right) \quad (3.17)$$

Vagy, ha a forgácsoló erő a szerszámél csúcsára hat:

$$M \approx F_c \cdot \frac{d_2}{2} \quad (3.18)$$

3.1.8 Forgácsoló teljesítmény

A forgácsolási teljesítményt a forgácsolási munka és a közben eltelt idő hányadosaként kell értelmeznünk. A munkát a szerszámban ébredő reakcióerők végzik, deformálják a munkadarab anyagát. A 3.26. ábra jelölései alapján a forgácsolási teljesítmény:

$$P = P_c + P_f + P_p = F_c \cdot v_c + F_f \cdot v_f + F_p \cdot v_p \quad (3.19)$$

Ahol:

- P_c : a forgácsolás irányú,
- P_f : az előtolás irányú,
- P_p : a mélyítő irányú teljesítmény.

Mivel a mélyítő irányú teljesítmény nulla ($v_p = 0$), az előtolás irányú sebesség nagyságrendekkel kisebb, mint a forgácsoló sebesség ($v_f \ll v_c$), és az előtolás irányú erő is nagyságrendekkel kisebb, mint a főforgácsoló erő ($F_f \ll F_c$), ezért:

$$P \approx P_c \cdot v_c \quad (3.20)$$

3.1.9 Forgácsoló szerszámok [10]

A forgácsoló szerszámokkal szemben két fő követelményt támasztanak. Eszerint a szerszám legyen alkalmas:

- a meghatározott anyagréz leválasztására,
- a munkadarab előírt méretpontosságának, alakhűségének és felületi érdességének biztosítására.



Ezeket a követelményeket úgy lehet maradéktalanul kielégíteni, ha a szerszám forgácsoló részét helyesen alakítják ki, és a szerszám pontos (a géphez és a munkadarabhoz viszonyított) befogását biztosítani lehet. Ebből következik, hogy a forgácsoló szerszámnak két fő részből kell állnia: dolgozó és csatlakozó részből.

A különböző forgácsolási feladatok ellátására sokféle forgácsoló szerszám létezik. Ezeket az alábbi szempontok szerint csoportosíthatjuk:

- *az élek száma szerint* lehet egyélű, kétélű, szabályosan többélű és szabálytalanul sokélű,
- *az alkalmazás szerint* van esztergakés, gyalukés, fúró, maró, üregelő tüske stb.,
- *a dolgozó rész anyaga szerint* szerszámacél, keményfém, kerámia, gyémánt és egyéb anyag,
- *szerkezeti kivitel szerint* tömör, tompán hegesztett, váltólapkás, betétkéses stb.,
- *egyéb szempontok szerint* (pl. az élszögek nagysága, a szerszám méretei stb.).

A szerszámok tervezésének általános szempontjait röviden az alábbiakban foglaljuk össze.

A tervezés első lépése az adott forgácsolási feladatnak legjobban megfelelő szerszámtípus kiválasztása. Ezt követi a szerszám dolgozó részének a kialakítása. Megválasztandó a dolgozó rész anyaga és az optimális élszögek nagysága. Meg kell határozni a dolgozó rész főélének az alakját és élezését. Gondoskodni kell a leváló forgács elvezetéséről, illetve elhelyezéséről, valamint a szerszám hűtéséről.

A dolgozó rész megválasztása után kerül sor a szerszám szilárdsági méretezésére, amely nemcsak a dolgozó részre terjed ki, hanem gondolni kell a szerszám befogására is. Meg kell választani, és szilárdságilag ellenőrizni kell a szerszám csatlakozó részét is. Gondolni kell a szerszám előállításának gazdaságosságára is.

A szerszám típusának a kiválasztására általános érvényű szabályok nincsenek. A munkadarab, illetve a megmunkált felületek bizonyos támpontot nyújtanak a szerszám típusának megválasztásához. A szerszám alakját gazdaságossági kérdések is befolyásolhatják: választható például ugyanannak a felületnek a megmunkálására olcsó, de kis termelékenységgű egyenes fogú palástmaró, vagy drágább, de nagyobb termelékenységgű ferde fogú palástmaró. A szerszám típusának kiválasztásakor mindig támaszkodni kell a gyakorlati tapasztalatokra és a szabványokra.

A forgácsoló szerszámok anyagának a kiválasztásakor négy jellemzőt kell elsősorban figyelembe venni: az anyag keménységét, szilárdságát, hőkezelését és a gazdaságossági kérdéseket.

A szerszámok anyagának kiválasztásakor sok egymással ellentétes szempont figyelembevételével kell dönteni. Ha például csak az éltartósságot tartanánk szem előtt, akkor pl. a gyorsacélt egyértelműen előnybe kellene részesíteni a karbonacéllal szemben. Ha viszont csak a szerszámanyag árát vennénk figyelembe, akkor éppen ellenkezőleg kellene dönteni, mert a karbonacélok ára csak kb. egy tizede a gyorsacél árának.

A forgácsoló szerszámok készítéséhez az alábbi anyagokat használják:

- szerszámacélok:



- ötvözetlen szerszámacélok,
- ötvözött szerszámacélok,
- gyorsacélok.
- keményfémek,
- kerámia szerszámanyagok,
- egyéb szerszámanyagok (pl. elbor-R, kompozit, gyémánt).

Ötvözetlen szerszámacélok

Forgácsoló szerszámok készítésére a 0,6-1,5 % C-tartalmú acélszerek használatosak. A karbonacélok *előnyei*: olcsók, könnyen megmunkálhatók, edzési hőmérsékletük kicsi. Jól használhatók kis forgácsolási sebességű és kis teljesítményű szerszámokhoz (menetfúrók, menetmetszők, dörzsárok). Hátrányai: csak kis forgácsolási sebességgel lehet velük dolgozni, mert 200 °C felett keménységük rohamosan csökken. A karbonacél szerszámok élköszörülését csak bőséges vízhűtéssel, különös gonddal lehet elvégezni, mert a köszörülési hő hatására is kilágyulhatnak. Hőkezelésük: 750-780 °C-ra hevítve, vízben lehűtve, majd 180-250 °C-on megeresztve. Elérhető keménység HRC=63-64. Hőkezeléskor ügyelni kell az elhúzóadás és repedés elkerülésére.

Ötvözött szerszámacélok

Ebbe a csoportba tartoznak a Cr-, Mn- és W-ötvöztetésű anyagok. A krómötvöztetésű anyagok jele K (K1...K6), a mangánötvöztetésűek jele M (M1...M2), a wolframötvöztetésűeké W (W1...W10). A Cr növeli az átedzhetőséget és a megeresztéssel szembeni ellenállást. A krómkarbidok növelik a keménységet. Az edzési hőmérséklet 1000-1050 °C, az edzés levegőáramban történik. A W növeli a szilárdságot, a megeresztésállóságot és az éltartósságot, a Mn növeli a melegszilárdságot és a megeresztésállóságot, csökkenti a kritikus lehűlési sebességet.

Gyorsacélok

A gyorsacélok legjellegzetesebb tulajdonsága a nagy W-tartalom, ami nagy éltartósságot és nagy forgácsolási teljesítményt biztosít. A megengedett élhőmérséklet kb. 550-560 °C (kilágyulás veszélye nélkül). Edzési hőmérséklet 1230-1320 °C, lehűtés fúvatott levegővel, olajban vagy sóolvadékban. Megeresztés 550-580 °C-on só- vagy fémfürdőben. A gyorsacélok jelölése: R1-től R11-ig.

Keményfémlapkák

A forgácsoló szerszámok készítéséhez használt keményfémek wolfram-, titán- és kobaltkarbidokból álló anyagok. Az alkotókat finom porrá őrlik, ebből különböző alakú, kisméretű lapkákat sajtolnak, ezeket kemencében előzsugorítják, majd ezt követi a készrezsugorítás. Az így készített lapkák elérik forgácsolási keménységüket, amely utólagos hőkezeléssel már nem szabályozható. Mivel a keményfémlapkák nagyon drágák, keményfémből nem gyártanak tömör szerszámot, hanem csak apró lapkákat, amelyeket a különböző szerszámacélból vagy szerkezeti acélból készült szerszámtesten kialakított



fészekbe erősítenek (mechanikusan vagy forrasztással). A lapkák felerősítése után végzik el az élek köszörülését.

Kerámialapok

A kerámia lapok alapanyaga tiszta alumíniumoxid (Al_2O_3), amit por alakban lapkákra sajtolnak, és égetve zsugorítanak. Az ilyen anyagok nagy keménységűek és kb. 900 °C-ig éltartóak. Hátrányuk, hogy nagyon ridegek, ezért hajlítószilárdságuk csekély, köszörülésük nehéz. Kis előtolással és nagy forgácsolási sebességgel kell velük dolgozni. A lapkát mechanikusan lehet a szerszámtestre erősíteni.

Gyémánt

A gyémánt a legkeményebb anyag, ezért éltartóssága igen nagy, az előforduló legnagyobb forgácsolási sebességet is elbírja. Nyomószilárdsága nagy, hajlítószilárdsága viszont kicsi. A gyémánt szerszám köszörülése csak különleges csiszolási módszerrel lehetséges. A gyémántbetétes szerszámokat csak különleges finom megmunkálásokhoz használják. Az ilyen szerszámokkal kis előtolással, kis fogásmélységgel és nagy forgácsolási sebességgel szabad forgácsolni. A gyémánt betétek befogása a szerszámtestbe mechanikus rögzítéssel vagy befoglaló forrasztással végezhető el.

3.1.10 Készülékek [10]

A forgácsoló eljárásoknál alkalmazott készülékeket a munkadarab megfogására, a szerszám vezetésére, vagy befogására szolgálják. Feladatuk általában véve az, hogy az egyetemes szerszámgepeket - amennyire csak lehet - felruházzák a különleges szerszámgepek jó tulajdonságaival. Mindennek természetesen a termelékenység és a méretpontosság fokozása a célja.

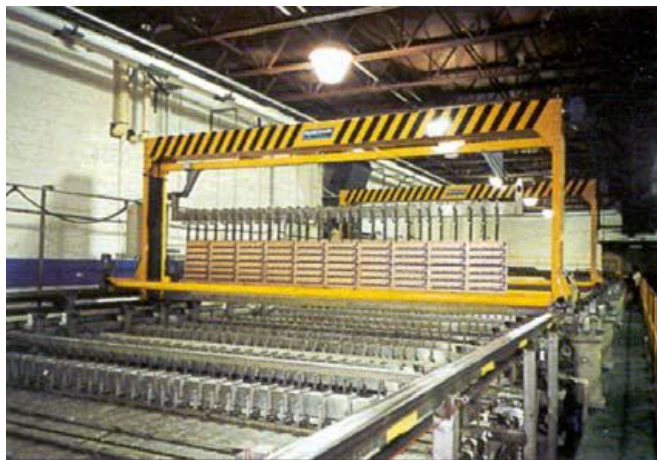
A jól megtervezett készülék csökkenti a munkadarab be- és kifogásához szükséges időt, egyszerűbbé teszi a darab vagy a szerszám helyzetmeghatározását, főlegessé teszi a mérést. A készülékek alkalmazása tehát elsősorban a mellékidők csökkentésén keresztül növeli a termelékenységet. De csökkentheti a főidőt is, mivel a készülékbe szilárdan befogott munkadarab lehetővé teszi kedvezőbb forgácsolási paraméterek megválasztását, a szerszámgepek teljesítmények jobb kihasználását.

A készülékekben az alábbi főbb elemek találhatók meg:

- meghatározó elemek, amelyek a munkadarabok azonos és egyértelmű helyzetét biztosítják a készülékben,
- szorító elemek a munkadarab meghatározott helyzetben való rögzítésére,
- szerszámbeállító elemek a forgácsolószerszám pontos és gyors méretbeállításának biztosítására,
- osztó berendezések, amelyek a munkadarab vagy a szerszám egymáshoz viszonyított helyzetének változtatásával az egy befogásban végzett többhelyzetes megmunkálást biztosítják,
- készülékelhelyező elemek, amelyek a készüléknek a szerszámgepen való pontos elhelyezését biztosítják,
- egyéb elemek pl. hidraulikus, pneumatikus és villamos alkatrészek.

4 A CAM MÓDSZERTANA, ALKALMAZÁSÁNAK MÓDJAI

Alapvetően minden szerszámgép működéséhez szükséges a vezérlő rendszer, melyeknek számos típusa ismert. A főbb vezérlőtípusok a kézi vezérlés, automatikus vezérlés számítógépes vezérlés, távvezérlés. A tömegtermelésben minimális elvárás a gépekkel szemben, hogy folyamatos üzemben, minimalizált ciklusidővel, precízen és reprodukálhatóan gyártsanak. Gyártóeszközeink mechanikusan, pneumatikusan, vagy elektromos rendszerrel vezérelhetők, mindemellett azonban vannak olyan folyamatok melyek részideje nem csökkenthető tovább, például a szerszámcserek, mely jelentős kiesést okoz a megfeszített termelési ütemben. Ennek illusztrációjára szolgál a következő ábra.



4.1. ábra: Ipari tömegtermelés

Forrás: [27]

A technológia fejlődésével az elektronikai ipar és a számítástechnika egyre inkább előtérbe került gyártóeszközeink vezérlésében, ennek oka a hatékonyság ugrásszerű növekedése továbbá ezzel párhuzamosan a minőség javulása. Így napjaink modern ipari üremeiben az ilyen vezérlőrendszerrel ellátott berendezésekkel találkozunk, melyet általánosan NC/CNC gépként emlegetünk [27].



4.2. ábra: CNC gép

Forrás: [27]



Egy NC berendezés egy számítógéppel összekötve már számítógéppel vezérelt szerszámgép, általános nevén CNC gép. A CNC gépek digitális információ alapján vezérlik a munkadarab és a szerszámok mozgását, például forgácsolási sebesség, vágás sebessége, a szerszámok mozgási irányai, stb. Ennek köszönhetően néhány paraméter megváltoztatásával rendkívül gyorsan irányításunk alá kerül a gyártási folyamat.

A CAM folyamatának elengedhetetlen része a számítógéppel segített tervezés (CAD), mert egy technológiailag helyesen elkészített rajz jelentősen hozzájárul a gyártástechnológia gyors és hatékony tervezéséhez [27].

A CNC gépek előnyei:

- A számítógépes vezérlés képes optimalizálni a szerszám útvonalat, a forgás - és vágás sebességét a termék CAD rajzából kinyert információk alapján.
- Általában a szerszámcsere automatikus.
- A CNC gép képes precízen kontrollálni a szerszámok bármely irányban történő mozgását, így egy összetett alkatrész is gazdaságosan legyártható.
- A széleskörű beviteli módoknak, és a memória kapacitásának köszönhetően, a CNC gépre feltölthetünk, módosíthatunk, lementhetünk programokat.
- Ha CNC gépet használunk, nem kell manuálisan utánállítanunk vagy belenyúlnunk a vezérlésbe, így a gyártás nagy sebességgel, kisebb anyagi ráfordítással kivitelezhető.
- A CNC gépek rengeteg információval szolgálhatnak a gyártásról, így növelve a minőséget és csökkentve az anyagi ráfordításokat.

A CNC gépek hátrányai:

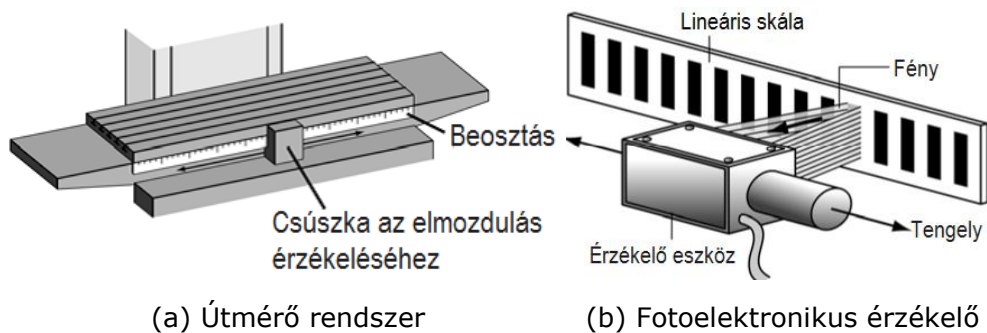
- A gépek ára általában túl drága, hogy a kisebb vállalkozások megengedhessék maguknak a gép megvásárlását.
- A programozóknak jól képzetteknek és naprakészeknek kell lenniük, ami jelentős anyagi ráfordítást jelent.
- A vezérlő rendszer bonyolult, karbantartása, javítása költséges.

4.1 CNC gépek típusai

4.1.1 CNC gépek kialakítása

Az automatizálás igényeihez igazodva a szerszámgépek, gyártóeszközök tervezésének is meg kellett újulnia. Először is, ahhoz hogy a CNC gép megfelelően precízen tudja mozgatni a szerszámot, az elmozdulás mérésének is megfelelő felbontással kell rendelkeznie. Példának okáért egy egyszerű pozíció meghatározása a munkadarabnak, vagy a szerszámnak (5.(a) ábra). Az útmérőkből rengeteg kivitel létezik, például használhatunk fotoelektronikus szenzort, mely a jelet azonnal tudja továbbítani a számítógépnek illetve a vezérlésnek (5.(b) ábra). A precizitás növelésével a szerszámok minimális kihajlása, és a gépágy jó rezgéscsillapítása elengedhetetlen, nem lóghat a csapágy és a főorsók sem, valamint a meghajtórendszernek is rendkívül feszítettnek kell lennie. A szánrendszer csúszásmentességével az energiaveszteség is csökkenthető, a hatékonyság, pontosság növekszik és végül, de nem utolsó sorban a maximális terhelhetőség is hatványozottan nő. Másrészt a meghajtó motorok fordulatszáma is széles spektrumban változtatható, ezáltal

lefedhető valamennyi sebesség igény, mely a követelmények között előjön. Gondoljunk a gépek gyorsjáratú és előtolási sebességeire. A motorok teljes terhelés mellett hosszú távon sem melegedhetnek túl, és a pontosságuknak is meg kell maradnia (hőtorzulás), ennek következtében a meghajtás klimatizálása elengedhetetlen [27].



4.3. ábra: Az útmérő rendszer és a fotoelektronikus érzékelő

Forrás: [27]

4.1.2 Eszköz, szerszám és darabcsere

A CNC gépeknek az esetek túlnyomó többségében nagyobb számú szerszám cserére szorulnak az egyes műveletek során, mint hagyományos társaik. Manapság akkora paletta elérhető a megmunkáló szerszámokból, hogy nem ritkaság akár az 50 db-os szerszámtár is egy gép esetében. Ennek oka nyilván abból adódik, hogy a gyártandó alkatrészek különböző műveleteihez különböző szerszámok kellenek, melyek a gyors elérés érdekében bent kell, hogy tartózkodjanak a szerszámtárban, továbbá a különböző gyártási műveletekre való átállási idő jelentősen redukálható, ha a szükséges szerszámokat a tárban tartjuk. A szerszámcsere történhet manipulátorral, vagy levegővel mozgatott segéd karokkal, vagy akár robotkar alkalmazásával. A darabcsere a következő sarkalatos pontja a megmunkálásnak. Régebbi megoldás, de napjainkban is előszeretettel alkalmazottak az úgynevezett több palettás gépek, ahol 2 vagy 4 palettán vannak elhelyezve a munkadarabok és a paletta 90 vagy 180 fokos elfordításával már be is jut a munkatérbe a megmunkálendő darab, és eltávolítható a szabaddá vált palettáról a késztermék, valamint ezzel párhuzamosan a következő megmunkálendő darab is felhelyezhető. Léteznek robotkarok, melyek szintén meg tudják automatikusan oldani a darabok cseréjét. A következő ábrán egy ilyen megoldást láthatunk [27].

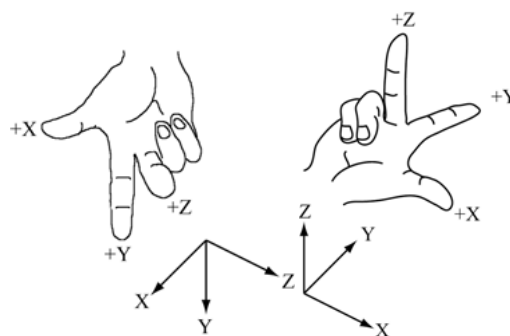


4.4. ábra: Robotkar a munkadarab cseréjéhez

Forrás: [27]

4.1.3 Koordináta rendszer

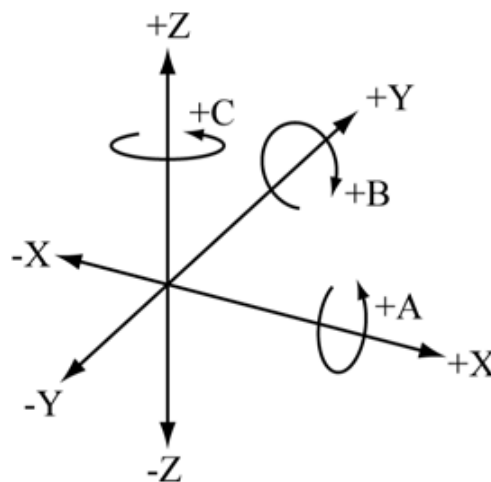
A CNC gépeknek elengedhetetlenül fontos, hogy legyen egy inerciarendszerük, melyhez viszonyítva mérik a szerszámok elmozdulásait. Ez a rendszer más néven a CNC gép koordináta rendszere. Például ilyen KR a nemzetközileg alkalmazott ISO R841 szabványosított rendszer. A szerszámoknak térbeli alakzatokat kell elkészíteniük, ez azt jelenti, hogy egy három dimenziós térben kell, hogy mozogjanak. Következésképpen a derékszögű koordináta rendszer az, amit a legegyszerűbb alkalmaznia probléma kezelésére. A tengelyeket X;Y;Z-vel jelöljük. Három ujjunkból, a nagy-, mutató - és középső ujjunkból megformázhatjuk a koordináta rendszert, ha egymásra merőlegesen tartjuk őket, ahogy az alábbi ábrán is látható. Ez az ún. jobb kéz szabály [27].



4.5. ábra: Jobb kéz szabály

Forrás: [27]

A forgástengelyek a koordináta rendszer tengelye mentén megadhatók az alábbi ábrán az A, B és C jelöli a forgástengelyeket, az X, Y, Z tengelyek forgástengelyként való használatával.



4.6. ábra: Forgástengelyek megadása

Forrás: [27]

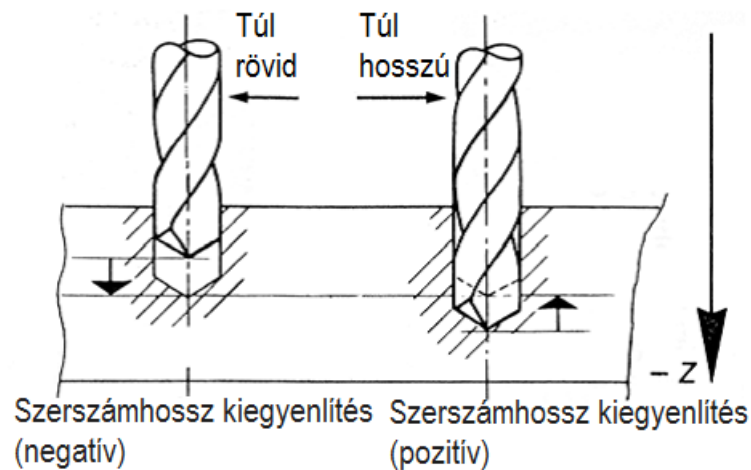
A forgástengely lehet pozitív vagy negatív irányú, azaz óramutatóval megegyező irányba forgatva pozitív, ellenkező irányba forgatva negatív.

4.1.4 CNC gépek típusai

A CNC megmunkáló gépek számos típusa terjedt el, ezek a következők:

- CNC fúrógépek

A CNC fúrógépek esetében a megmunkálandó darab az asztalhoz van rögzítve, a fúró forgásának sebessége, és az előtolása pedig vezérelhető. A fúrószárok eltérő hossza miatt a legtöbb vezérlésnek tudnia kell ezeket az eltéréseket kezelni, kompenzálni. Általában a CNC fúrógépek automata szerszámváltásra is képesek [27].

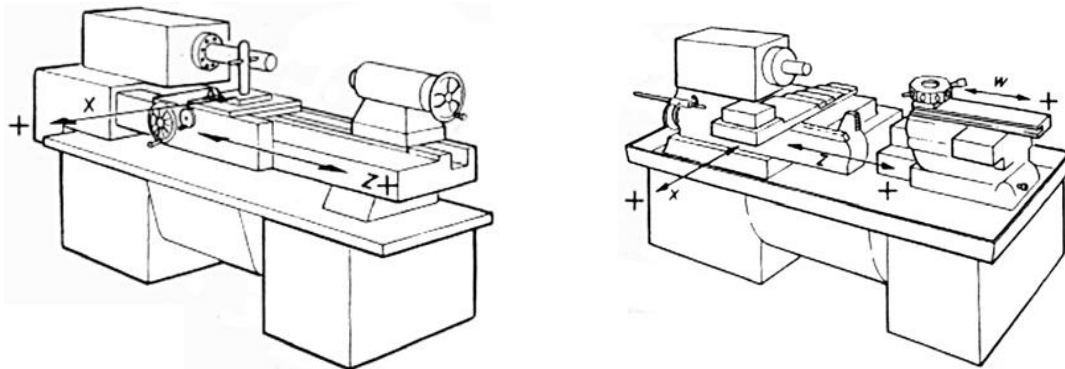


4.7. ábra: Fúrési mélység kompenzációja

Forrás: [27]

- CNC esztergagépek

A legtöbb CNC esztergagép esetében a fő tengelyek az X és Z tengely, de némely típusoknak a W tengelyt is tudniuk kell kezelni. A szerszámmozgás vezérelhetőségén kívül a gépek vezérlése további paramétereket is kezel, mint például a főorsó fordulatszáma, a forgástengely eltolása, és a forgácsolási sebesség, valamint a szerszámtár [27].

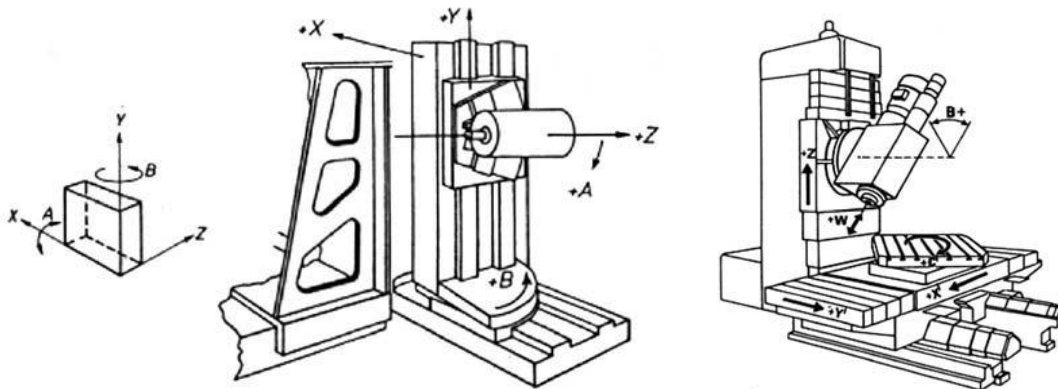


4.8. ábra: Két- és három tengelyes CNC esztergagép

Forrás: [27]

- CNC marógépek

A CNC marógépeknek alapvetően két főbb kialakítása létezik. Horizontális és vertikális marógépek. A CNC marógépek szinte minden típusa képes kontúrkövetésre is, lehetnek 3,4,5 vagy több tengelyesek. Ezen felül az automatikus útvonal számítási ciklusoknak köszönhetően, mely segítségével két pont közti kontúr alakítható ki, széles körben és változatos formák kialakítására van lehetőségünk [27].

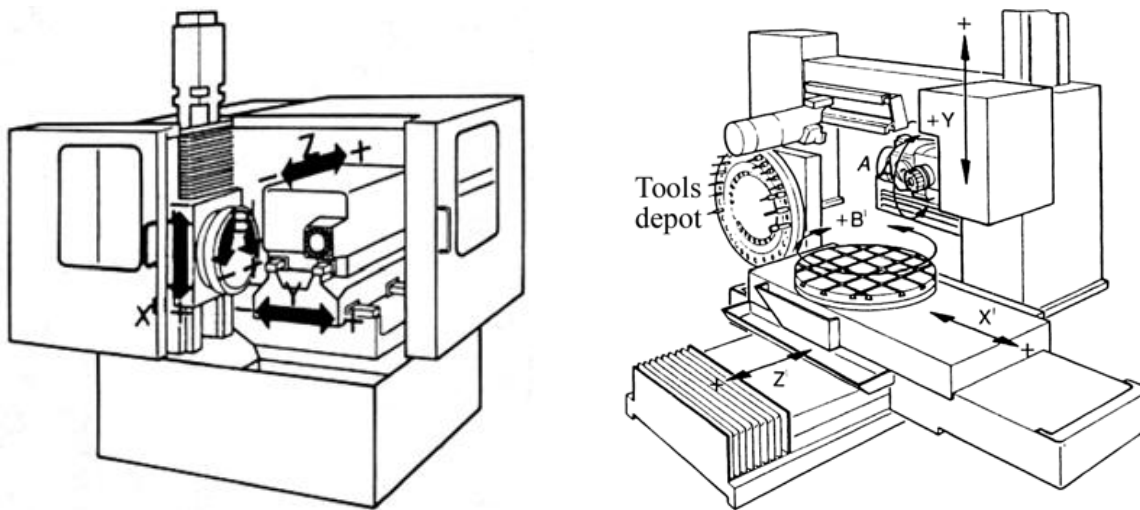


4.9. ábra: 5 tengelyes CNC marógépek Horizontális és Vertikális kialakításban

Forrás: [27]

- CNC megmunkáló központok

A CNC megmunkáló központok átlagos CNC gépként kezelhetők, melyek rengeteg szerszámmal vannak felszerelve a változatos munkákhoz, mint például felület marás, fúrás, vállas furatok, menetek elkészítése, összetett felületek megmunkálása, 3D marás, stb. Egyszerre 4-5 tengely is vezérelhető, így komplex feladatok is elvégezhetők a megmunkáló központokon [27].



4.10. ábra: CNC megmunkáló központok

Forrás: [27]

A szerszámcserek programból vezérelhetők, az egyszerre betárazható megmunkáló szerszámok mennyisége elérheti akár a 120-at is, ez természetesen függ a szerszámtár műszaki megoldásától és kialakításától. Néhány megmunkáló központhoz már a szerszámtár töltését is automatizáltan végzik (erre példa az alábbi ábra jobb oldali képe) így jelentős időt megtakarítva [27].



4.11. ábra: Szerszámtár, automatizált szerszámtár töltés

Forrás: [27]

- CNC prések

A vágó-, kivágó, kontúrvágó műveletek a képlékeny alakítás témacsoportjába tartoznak. Ezen berendezések segítségével bonyolult kontúrokat, összetett szimmetriájú furatokat, vagy egyszerre több alakzatot is el tudunk készíteni akár egyetlen leütéssel. A tömegtermelésben ezeket a présgépeket is CNC-vel vezéreljük. Ezáltal összetett alakzatok készíthetők megfelelő precizitással és reprodukálhatóan [27].



4.12. ábra: CNC Présgép, munkadarabok

Forrás: [27]

- CNC lemezollók

A CNC lemezollókkal többnyire a képlékenyalakítás előkészítésénél találkozunk, de természetesen reprodukálható és megfelelő toleranciájú késztermékek is gyárthatók a segítségével. Továbbá kis átalakítással CNC vezérelt élhajlító berendezésünk is lehet.



4.13. ábra: CNC lemezolló

Forrás: [27]

- CNC ponthegeesztő gépek

A ponthegeesztő eljárás már röviddel kialakulása után az elsőként automatizálható hegesztések közé tartozott. A CNC vezérlés kialakulását az autóiipar nagy érdeklődése hozta meg ennek a hegesztő eljárásnak. Napjainkban valamennyi autógyár alkalmazza többnyire robotkarok manipulátoraiba építve.

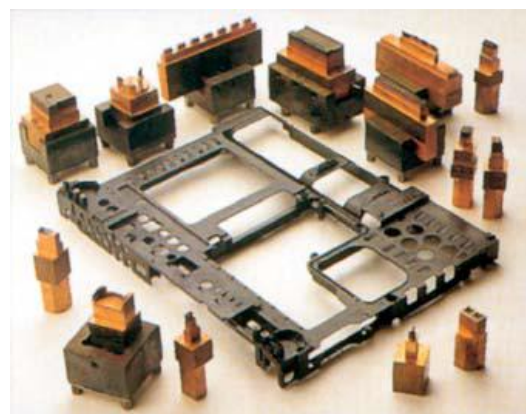


4.14. ábra: Ponthegeesztés az autóiiparban

Forrás: [28]

- CNC szikraforgácsolás

A szikraforgácsoló gépeket előszeretettel alkalmazzák olyan nagy pontosságú, és kis tűrésű méretek kialakításánál, melyek más eszközzel nem, vagy jelentős anyagi ráfordítások árán valósíthatók meg. A készülékek elterjedésének a lézeres technológiák megjelenése szabott gátat, de manapság is léteznek CNC vezérelt szikraforgácsoló gépek az iparban. A CNC vezérlésnek köszönhetően a termelékenységük ugrásszerűen megnőtt. Az alábbi ábrán a berendezést és az általa készíthető alkatrészeket láthatjuk [27].

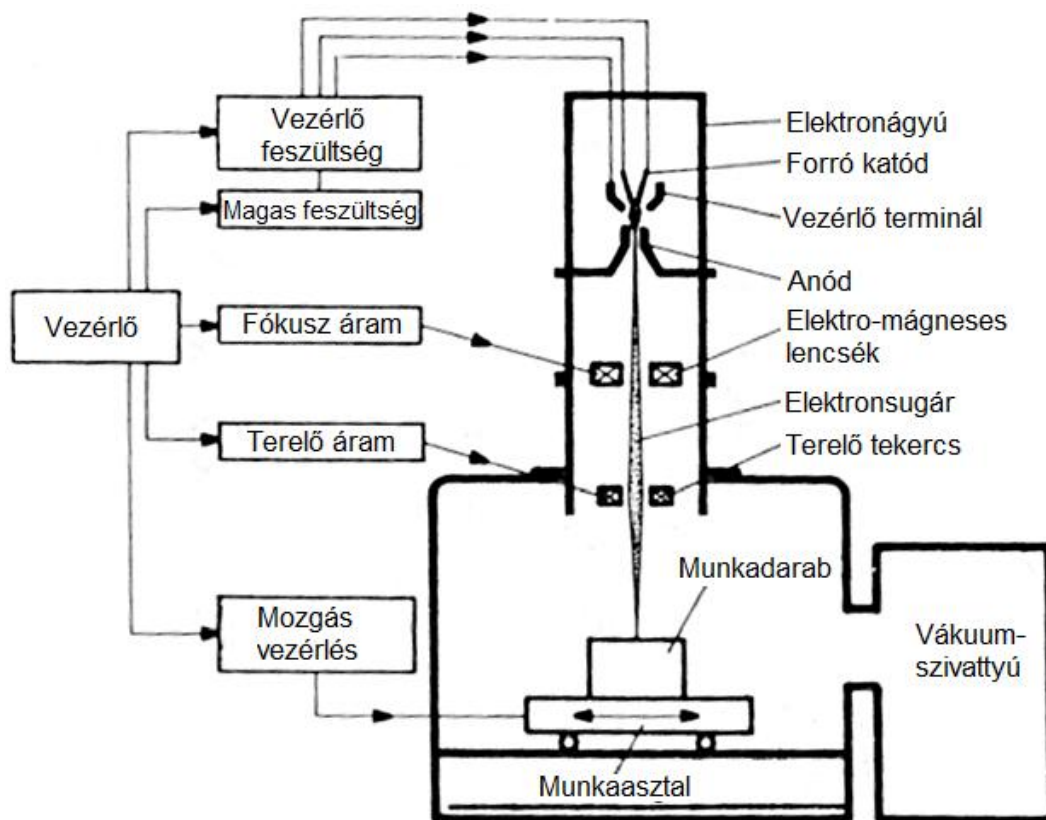


4.15. ábra: CNC szikraforgácsoló berendezés, késztermékek

Forrás: [27]

- CNC elektronsugaras berendezések

A CNC elektronsugaras berendezések a megmunkáláshoz nagy sebességre gyorsított elektronokból álló koncentrált nyalábot használnak. A berendezéssel többnyire anyagleválasztó műveletet végeznek általában fúrást, és 3D felület megmunkálást. Az elektronsugár miatt szükséges a munkatér vákuumozása, emiatt az eljárás időigényes és költséges, de természetesen vannak olyan nagy precizitású feladatok ahol elengedhetetlen az alkalmazása [27].



4.16. ábra: CNC elektronsugaras berendezés

Forrás: [27]

- CNC lézeres vágógép

A berendezés viszonylag egyszerűnek mondható, hiszen csak két koordináta tengelyt használunk az X és az Y tengelyt. A lézeres vágás miatt azonban az útmérők pontossága az, ami különlegessé teszi az eszközünket, hiszen a precíz vágásokhoz, illetve az összetett kontúrok elkészítéséhez ez elengedhetetlenül szükséges. A kivágott termékek terítése optimalizálható, többnyire ezt a funkciót valamennyi vezérlőprogram alpműveletként támogatja. Napjaink egyik leggyakrabban alkalmazott eljárása a lézervágás, egyetlen konkurenciája a vízsugaras vágógép, melynek fejlesztése napjainkban is folyik [27].

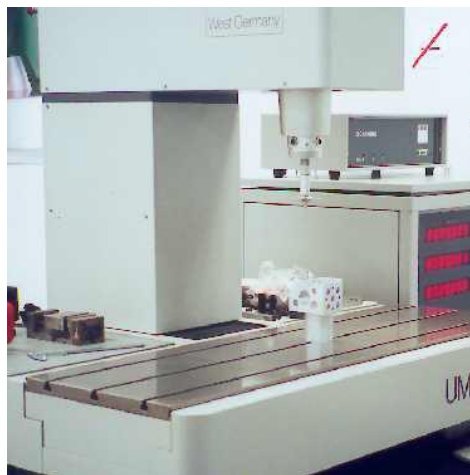
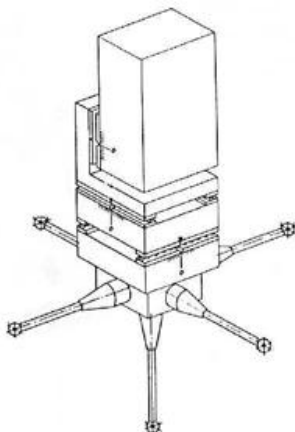


4.17. ábra: Lézeres CNC vágógép, késztermékek

Forrás: [27]

- CNC koordináta mérőgép

Az ipari gyakorlatban a CNC vezérlésű gépeken készült alkatrészek minőségi ellenőrzésénél a vezérlést, mint mérőeszközt is elfogadjuk. Ebből jogosan született az az igény, hogy mérőgép is készüljön, mely megfelelő útmérőkkel és tapintófejjel felszerelve, továbbá a mozgatóját CNC vezérléssel végezve egy komplex minőségellenőrző rendszert kapjunk. Ezek a berendezések széles spektrumban készülnek, és kereskedelmi forgalomból beszerezhetőek. A mérőfej és tapintó elvi ábrája, és egy CNC koordináta mérőgép látható az alábbi ábrán [27].



4.18. ábra: A mérőfej és tapintó elvi ábrája és a mérőgép

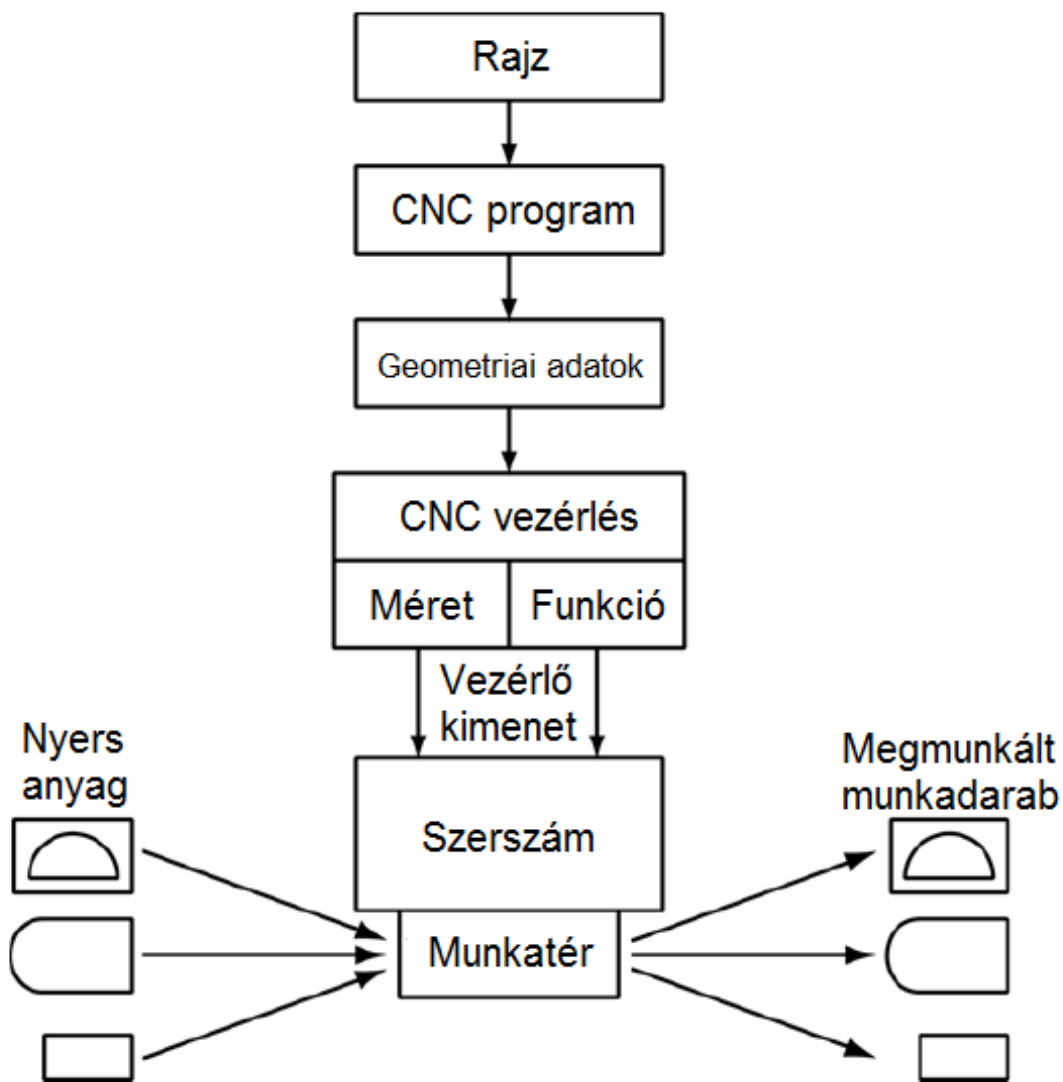
Forrás: [27]

Természetesen CNC vezérlésű gépek számtalan egyéb formában léteznek, és talán nem túlzás, ha azt állítjuk, hogy hetente születnek újabb megoldások, hiszen a műszaki tudományok kellően kifinomultak ahhoz, hogy egy új gyártási probléma megoldására akár egy teljesen új vezérlési módszert kialakítva, vagy egy meglévőt ráillesztve találjon választ.

Ezek a fejlesztések folyamatosak, és azt közvetítik számunkra, hogy érdemes ezekkel a technológiákkal foglalkozni a jövőben is [27].

4.2 A CNC gépek működése, vezérlése

Az alábbi ábrán egy egyszerűsített diagramon szemléltetjük a CNC gépek működésének főbb funkcióit.



4.19. ábra: CNC gépek működése

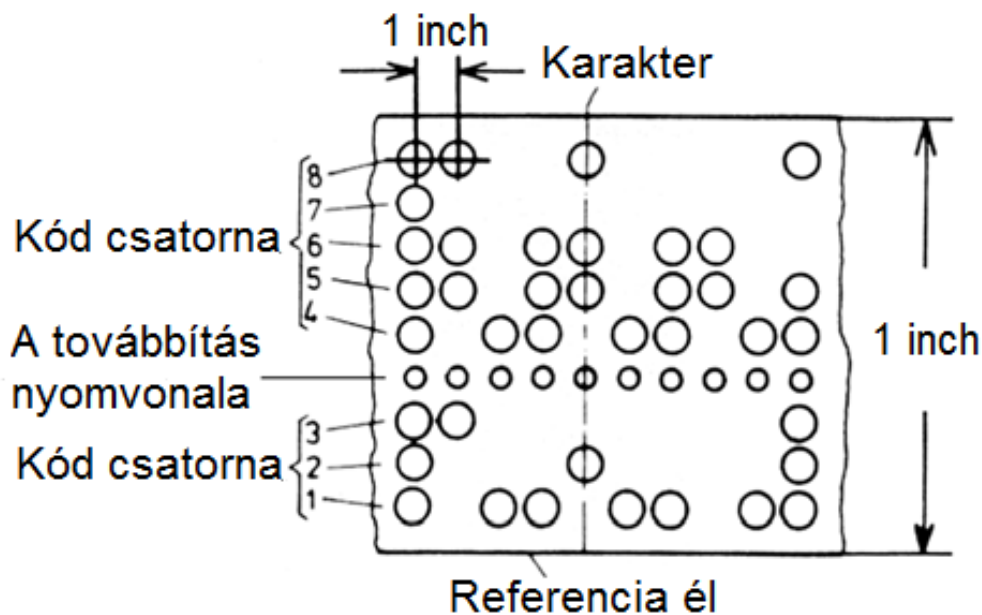
Forrás: [27]

Az ábra szerinti elrendezésben a műszaki rajz elsődleges fontosságú. Ebben a lépésben alkalmazhatjuk a szokásos CAD rendszereket. A műszaki rajz paramétereit alapján elkészíthető a CNC program. Ez a program tartalmazza a munkadarab valamennyi geometriai és technológiai információját. A geometriai információk határozzák a szerszámok pályamozgásait, a vágási irányt, a prioritásokat, stb. A technológiai információk a szerszámválasztást, a fordulatot, a forgási irányt, vágási sebességet, stb.

A CNC megmunkáló program bemenő információként értelmezhető a CNC vezérlő részére. Ha a vezérlő feldolgozta az információt, képes lesz kontrollálni az egész gyártási folyamatot, beleértve a szerszámcsereket is. A CNC programok szabványosított formában íródnak, általában az ISO R358 szerint, de amerikai szerszámgépeken az EIA RS244 szabvány használata terjedt el.

- ISO kód

Az ISO szabvány szerint a CNC programok 8 bites ISO kódban íródnak. Az értelmezéshez, továbbá mivel ez volt az első programformátum nézzünk meg egy ISO kódot egy papírszalagon, ami a 70-es évek vezérlőinek lelke volt.



4.20. ábra: CNC program papírszalagon

Forrás: [27]

Ha tüzetesebben megnézzük a kódrendszert észrevehetők, hogy az ISO kódok valamilyen speciális funkcióval is társulnak. A-val az X-tengely körüli forgatási irányt jelöljük, a G pedig az előkészítő függvény. Az ISO kódok áttekintését a következő táblázatban foglaltuk össze.

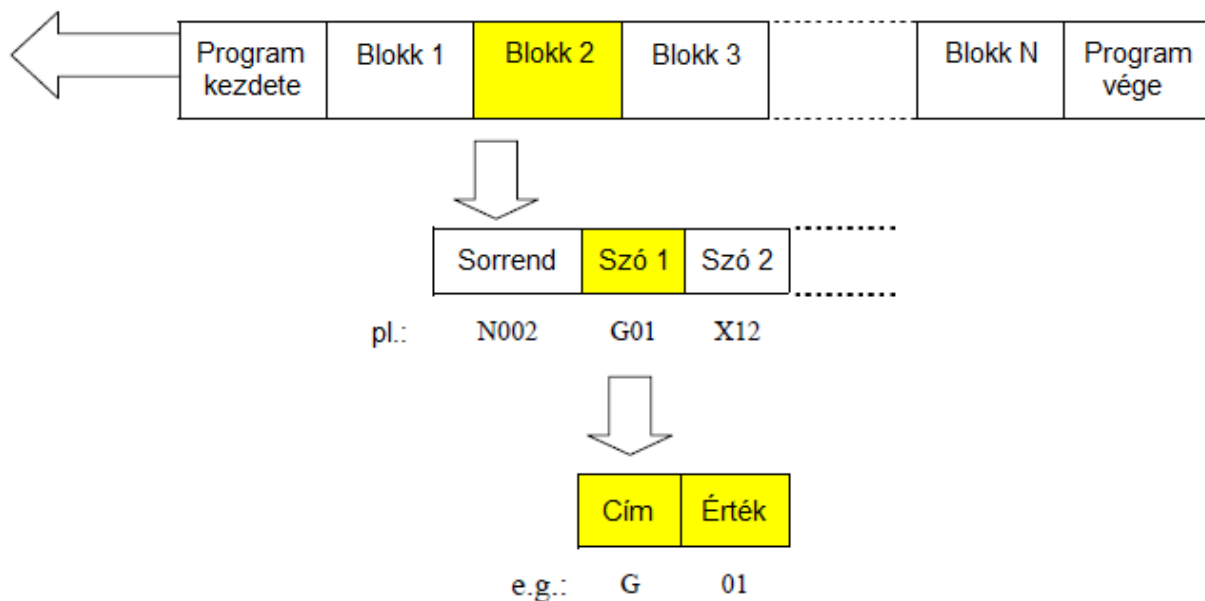


4.1. táblázat: ISO kódok

Kód csatorna									Karakter	Leírás
8	7	6	5	4	3	2	1			
		0	0						0	Számérték
0		0	0				0		1	Számérték
0		0	0			0			2	Számérték
		0	0			0	0		3	Számérték
0		0	0		0				4	Számérték
		0	0		0		0		5	Számérték
		0	0		0	0			6	Számérték
0		0	0		0	0	0		7	Számérték
0		0	0	0					8	Számérték
		0	0	0			0		9	Számérték
	0						0		A	Cím – Forgatás X tengely körül
	0					0			B	Cím – Forgatás y tengely körül
0	0					0	0		C	Cím – Forgatás z tengely körül
	0				0				D	Cím – Út kiegyenlítés
...								

- Programozás

Számtalan módja létezik a CNC program elkészítésének, de mind az ISO kódrendszerre épül. A legelterjedtebb módszer az ISO rövid szavas és címzéses módszer. Ez blokkokra osztja a programot, betűk és számok kombinációjából felépítve azt. A blokkok hossza a gyártmány összetettségétől függ.



4.21. ábra: CNC program felépítése

A fenti ábrán a CNC program felépítését láthatjuk. A program blokkokból áll. Minden blokk különböző lépésekért felelős a gyártási folyamatban. Valamennyi blokk tartalmazza a szükséges geometriai és technológiai információkat. A blokkok számsorrendben vannak, a kód végét a \$ jelöli.

A blokkok egy vagy több szóból állnak. Minden egyes szó egyetlen betűvel van jelölve és az utána következő számkódok írják le a technológiai lépés geometriai és technológiai paramétereit. Egy blokk különböző parancsokat tartalmazhat, melyek az alábbi táblázatban összefoglalva jelennek meg.



4.2. táblázat: Blokkon belüli parancsok

Parancs	Funkció	Cím
Sorszám	Minden blokkhoz egy szám lesz rendelve, azonosítás céljából	N
Koordináta szó	A szerszám és a munkadarab relatív mozgásainak vezérlése, pl.: lineáris koordináció, tengelyirányú mozgás	X,Y,Z, A,B,C, U,V,W
Paraméterek kör interpolációhoz	Két pont közé húzott ív paramétereinek megadása	I, J, K
Előtolás funkció	Vágósebesség megadása	F
Orsó funkció	A főorsó sebességének megadása	S
Szerszám funkció	A használni kívánt szerszámok megadása	T
Előkészítő funkció	Mozgástípusok jelzése, pl.: gyorsmenet, az egyenes vagy görbe beszúrás pozíciója, stb.	G
Mellék funkció	Számos funkciót tartalmaz, pl.: a főtengely forgásiránya, a kondenzátor ki/bekapcsolása, stb.	M

A kódok mellett mindig számokat találunk, melyeket összefoglaló néven kódoknak nevezünk. A kód címzése tehát egy betű és két szám. A kódokból a G és M kódokról ejtünk szót. A G-kódok a fő kódokat takarják, az M kódok az egyéb funkciók vezérlésére alkalmazottak. Például G00, ami a gyorsjáratban történő ráállást jelenti. M00 a program stopot.

4.3. táblázat: G kódok

G kód	Előkészítő funkció
G00	Elmozdulás gyorsmenetben (ponttól pontig)
G01	Egyenes interpoláció
G02	Kör interpoláció (óramutató járásával megegyező irányban)
G03	Kör interpoláció (óramutató járásával ellentétes irányban)
...	...
G18	A meghatározott ZX sík



4.4. táblázat: M kódok

M kód	Mellékfunkciók
M00	Program leállítása
...	...
M03	Orsó forgásiránya (óramutató járásával megegyező irányban)
M04	Orsó forgásiránya (óramutató járásával ellentétes irányba)
M05	Orsó forgásának leállítása
M06	Szerszámcsere

Több kód együttes alkalmazása mondatot eredményez, a mondatokból pedig blokkok lesznek. Erre példa az alábbi táblázatban látható.

4.5. táblázat: Blokkok a CNC programban

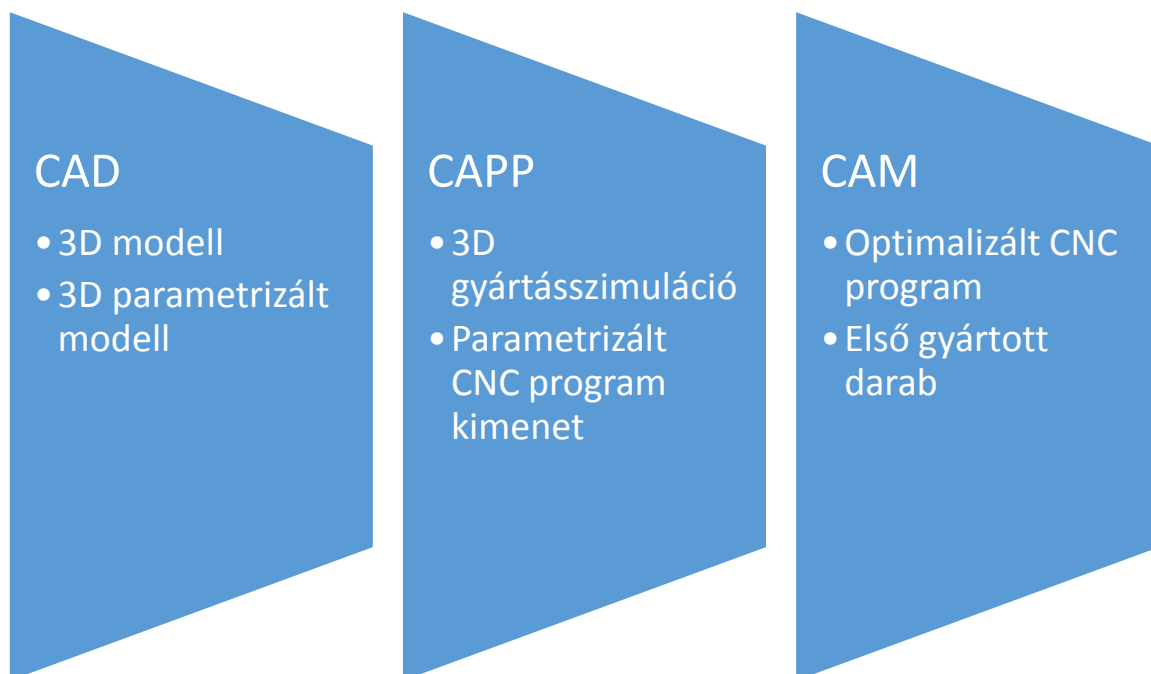
Blokk	Sor (N)	Magyarázat
N040 G18 X100 Z50 ;	40	100 a meghatározott X-tengelyen és 50 a meghatározott Z-tengelyen
N080 G97 S1000 ;	80	Az orsó sebessége a meghatározott főtengelyre 1000 [fordulat/perc]
N090 M03 ;	90	Tengely irányú forgás (óramutató járásával megegyező irányban)
N160 G00 X0 Z20 ;	160	Gyorsmenet a 0 koordinátára X-tengelyen és 20 koordinátára Z-tengelyen
N170 M08 ;	170	Hűtőfolyadék szivattyú bekapcsolása

A szabványos programelemekből felépített CNC programunk tehát egy olyan univerzális eszköz a kezünkben, melyet akár több, különböző típusú gyártóeszközön szimultán módon használhatunk. Természetesen a gépekre való optimalizálást nem tudjuk elkerülni, a CAM szoftverek azonban ezt is támogatják.



4.3 A CAM módszertana

A CAM mint betűszó tehát Computer Aided Manufacturing = Számítógéppel Segített Gyártást jelent. A CAM mint szoftver a CAD modell gyártási lépéseit parametrizálja és szimulálja le. Ha ipari környezetre fordítjuk, akkor a technológiai előkészítést végezhetjük el vele. A CNC program fordításához már be kell vonnunk a CAM által generált programba a szerszámgépünk azon paramétereit, melyek befolyásolhatják például a gyorsjáratú pályákat, és ütközés következhet be, ha ezen paramétereket figyelmen kívül hagyjuk. Innentől kezdve a CAM mint gyártási tevékenység jelenik meg módszertani szinten.



4.22. ábra: A CAD CAM integrált gyártórendszer elvi ábrája

Az ábrán az első funkcionális elem a CAD (Computer Aided Design) mely kezdetben csak a műhelyrajzok számítógépre történő felvitelét jelentette. Vannak még olyan cégek, vállalatok ahol megőrizte ezt a funkcióját. A 3D tervezőrendszerek megjelenésével (CATIA, NX, Solidworks) már teljesen más funkciókat lát el, a mérnöki munkának manapság csak az egyén kreativitásának mértéke szabhat határt.

Az oktatásban továbbra is megmaradt a hagyományos mérnöki fejlődés útvonala, azaz a hallgató először a 2D rajzolással kezdi tanulmányait, majd a biztos és gyakorlati rajztudás birtokában léphet feljebb és feljebb. Technológiai szempontból számunkra a CAD modellek azon jellemzői fontosak, amelyek parametrizált modellé teszik, azaz mennyire hordozza az adott CAD terv az alkatrész tényleges, valós jellemzőit. A műszaki tudomány teoretikusan kialakította e tevékenység nevét, és rövidítést is használ erre a szakirodalom ez a CAPP, magyarul számítógéppel segített technológiai folyamattervezés [29].



Egy számítógépes modell tükrözheti a munkadarab:

- kontúrvonalát,
- teljes geometriáját,
- anyagát,
- felületi minőségét,
- tőrésait,
- mechanikai, feszültségi viszonyait,
- terhelés hatására létrejövő alakváltozásait,
- több alkatrész kapcsolódó mozgásviszonyait stb.

Ilyen komplex parametrizált modell létrehozása csak nagyon komoly és mindenre kiterjedő modulrendszerű szoftverekkel lehetséges. Nagyon hangsúlyos szerep jut a geometria illeszkedés és ellenőrző modulnak, hiszen ha minimális rések, tőrési hiányosságok adódnak, az az egész további folyamatot veszélyezteti.

4.4 Mechanikai elemzés [29]

A tervezett és gyártandó alkatrészek mechanikai elemzésével előgyártmány készítése nélkül, illetve valós kísérletek elvégzése nélkül kaphatunk betekintést a modell viselkedésére a gyártás közben fellépő mechanikai terhelésekkel szemben.

Az elemzés segítségével meghatározhatjuk, hogy;

- az igénybevételek hatására milyen irányban és mértékben fog deformálódni a modell,
- milyen az anyagjellemzők változásának hatása.

A terhelés lehet erő, gyorsulás, gravitáció, nyomás, hőmérséklet, hőforrás és mágneses hatás. A terhelés hely és idő függvényében, matematikai összefüggéssel leírható változása is figyelembe vehető.

VEM (Véges Elemek Módszere)

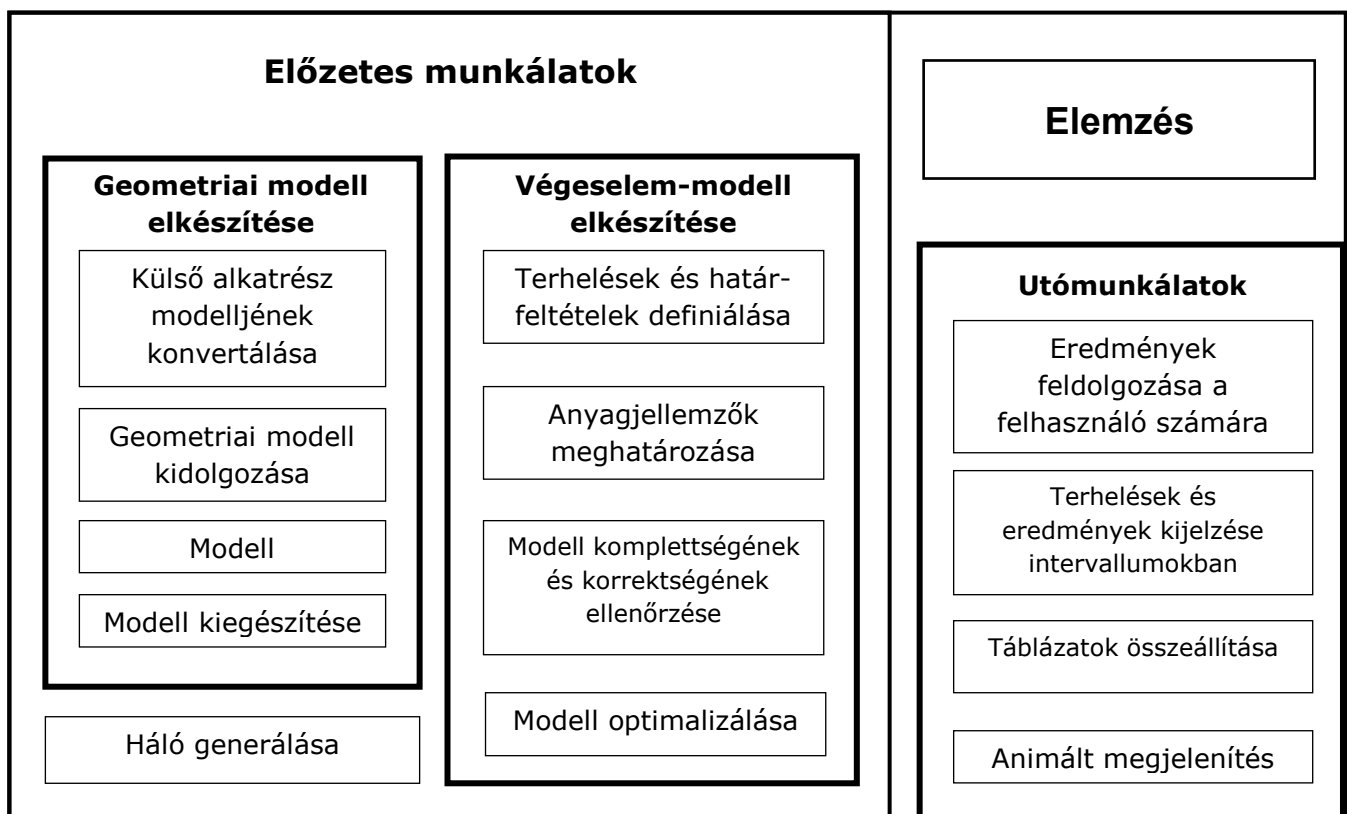
A végeselemek módszerét (angolul FEA, Finite Element Analysis) a mechanikai rendszerek elemzéséhez általános feladatmegoldó eszköznek tekintjük. Ily módon gyakorlatilag bármely bonyolultságú alak elemezhető, bármely anyagjellemző meghatározható, bármely terhelés és határfeltétel figyelembe vehető.

A számítási feladatokhoz a fejlesztők olyan módszert kerestek, amelyek az igénybevételeket az alkatrészen elhelyezett, meghatározott nagyságú, az elemzési feladat igénye szerint kialakítható véges számú elemen végzi el. Ennek a következménye az, hogy napjainkban a feszültség, az alakváltozás, a hőmérséklet, a mágneses tér stb. meghatározására szinte kizárólag a végeselemeken alakuló elemzési modellezést és elemzést alkalmaznak. A vizsgálathoz nem minden geometriai modell alkalmas, létre kell hozni a Véges Elem Modellt, amelynek rövidítése a VEM (angolul FEM, Finite Element Modeling).

Az elemzési modell létrehozása, vagyis az elemzési modellezés során az alkatrész alakjának modelljét esetleg ki kell egészíteni vagy egyszerűsíteni. El kell készíteni az



úgynevezett végeelem hálóját, valamint meg kell határozni a terheléseket, és el kell helyezni azokat a hálóval ellátott alakmodellen. Ezután az elemzési modell felhasználásával elvégezhető az elemzés. Az elemzési modell elkészítéséhez, ellenőrzéséhez és az elemzéshez a jól kiépített műszaki tervezőrendszerekben eljárások egész sora áll rendelkezésre. Speciális elemzési célokra gyakran fejlesztenek ki önálló programokat is. A 4.23. ábra a végeelemeken alapuló modellezést foglalja össze.



4.23. ábra: Végeelemeken alapuló modellezés és elemzés lépései

Forrás: [29]

A végeelem-analízis matematikailag egy numerikus módszer, amelynél hálóban elhelyezett végeelemekkel való közelítést alkalmaznak. Az elemzés során vizsgált paraméterek értékét matematikai összefüggések alapján határozzák meg, amelyeket a felhasználó az elemzőprogramokba építve kap vagy maga határoz meg.

Geometriai modell készítése:

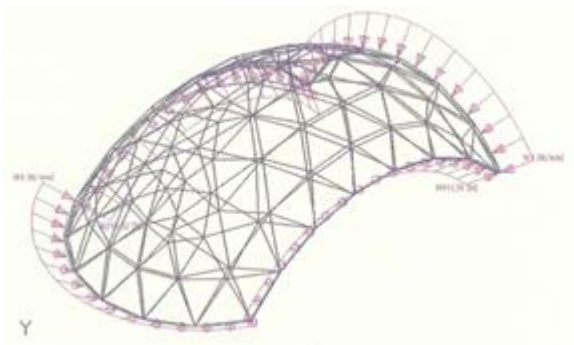
- Ha a geometriai modell a végeelem-eszközökkel integrált modellezővel készül, akkor közvetlenül felhasználható.
- Ha a geometriai modell külső rendszerből származik, akkor az áthozott adatok nem biztos, hogy közvetlenül felhasználhatók, ezért valamilyen semleges közbenső formátumot kell választani. Ez kettős konverziót jelent.

Hálógenerálás:

A végelemekre való bontáskor egyszerű elemi alakzatokra bontja a program az alkatrészt. A program választja meg az optimális alakzatot.

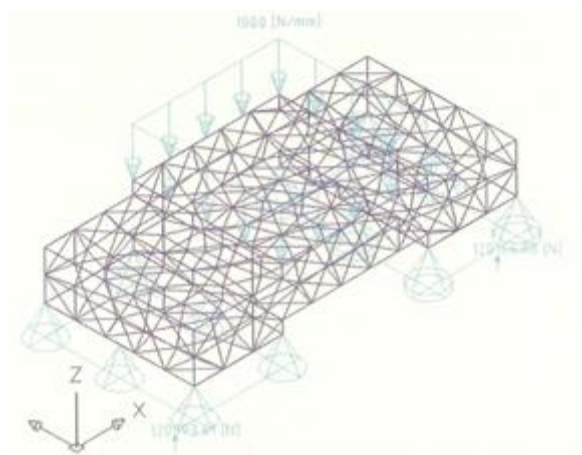
Ezek lehetnek: egydimenziós, vonal; kétdimenziós síkelem, amely háromszög vagy négyszög elemekre bontja az alakzatot; háromdimenziós hég, ami gyakran megegyezik a kétdimenzióssal, csak a vastagságra vonatkozó információval kiegészített a felület, ahogy ezt a 4.24. ábra mutatja. A háromdimenziós test, ez leggyakrabban háromszög alapú gúlákra bontja a testet a 4.25. ábra szerint.

A hálók nem tévesztendőek össze a CAD által rajzolt hálóval, pl. gömbnél.



4.24. ábra: A számításhoz generált háló héjszerkezete

Forrás: [29]



4.25. ábra: A számításhoz generált háló testre

Forrás: [29]

Végelem-modell elkészítése:

A végelem-modell másik lépése a terhelések, alátámasztások, anyagminőség megadása vagy kiválasztása. Az elemzési modellnek ezt a részét terhelési modellnek nevezzük. A terhelés elhelyezhető csomópontokban, vonalak mentén vagy felületen. Tipikus terhelés a

koncentrált, vagy megoszló erő, a nyíró igénybevétel, a hajlító igénybevétel, a gyorsulás, amely lehet gravitációs, translációs vagy rotációs, az élen vagy felületen ható nyomás, a csomópontokban, elemen vagy felületen uralkodó hőmérséklet és a koncentrált vagy megoszló hőforrás. A fejlett rendszerekben a terhelés változása is megadható matematikai összefüggés formájában.

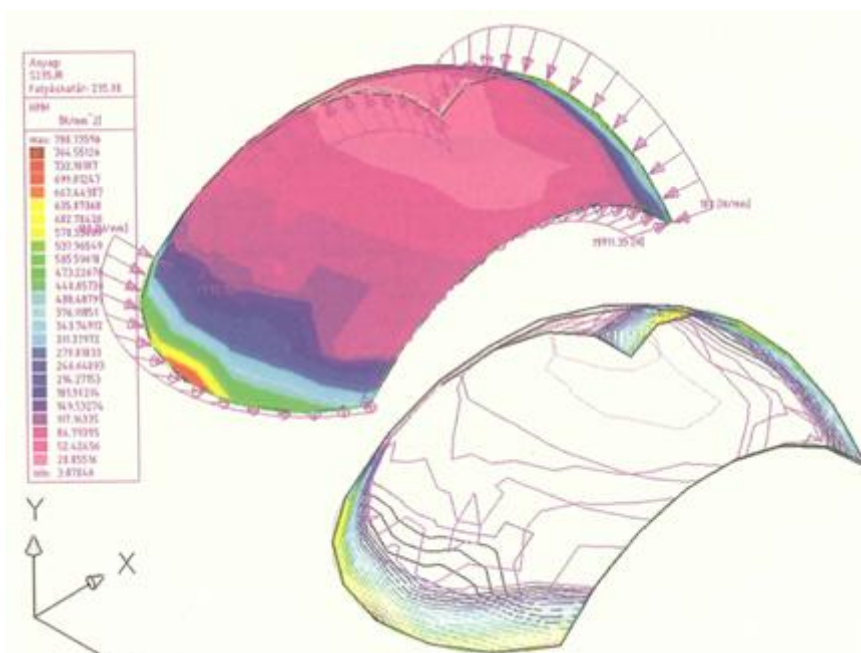
Az elemzési modell építéséhez egyes modellezők a mechanikából ismert alapvető kényszereket (alátámasztásokat) kész modellépítő elemként tartalmazzák. A korlátozott csomópontok mind a hat szabadságfokkal rendelkeznek, elmozdulhatnak. Ezek a deformációk is modellezhetők.

Elemzés:

Az elemzés során többek között feszültség, alakváltozás, nyomás, reakcióerő, alakváltozási energia, saját frekvencia, hőmérséklet, hőáram és mágneses tér határozható meg. A különféle elemzésekhez megfelelő elemzőprogramok szükségesek. Ha az itt felsorolt eredmények mindegyikét megszeretnénk kapni, akkor igen nagy kiépítettségű rendszerre lenne szükségünk. Statikus elemzéssel feszültséget, alakváltozást és hőmérséklet-eloszlást számítanak. A dinamikus elemzéssel saját frekvencia és rezgések határozhatók meg.

Az eredmények szemléltetése többféleképpen lehetséges. A legelterjedtebb a grafikus módszer, amely esetében az alakon eltérő színterületekkel jelölik a vizsgált jellemző értékének meghatározott tartományait, vagy a tartományokat elválasztó felületi szintvonalakkal jelölik különböző színekkel. Az elemzés eredményét megjelenítik táblázatos alakban is (4.26. ábra).

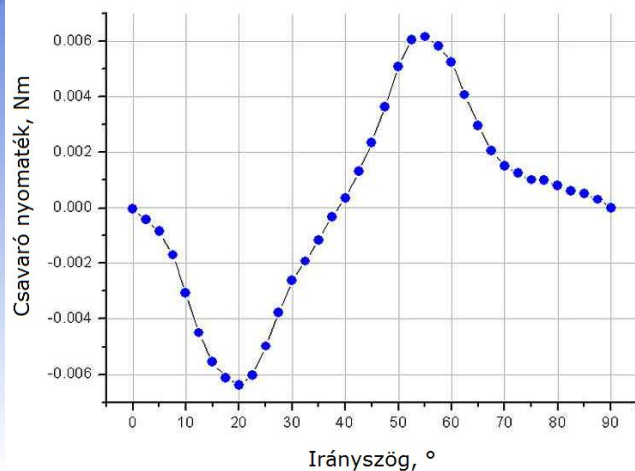
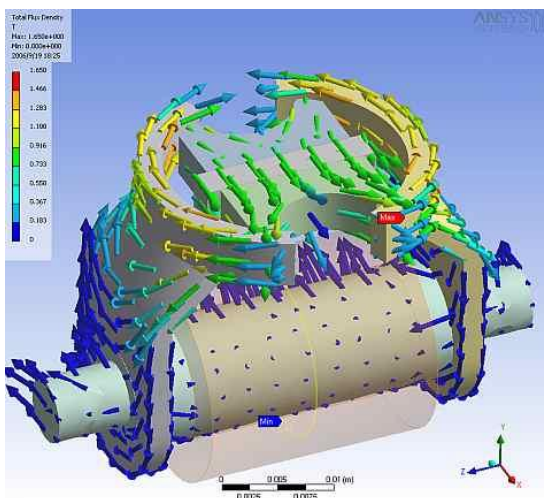
A deformációt az alak változásainak animációjával lehet szemléltetni.



4.26. ábra: A feszültségek grafikus és táblázatos megjelenítése

A végelemek módszerét szabadon szerkesztett alkatrészeknél használják. Ha az alkatrészt valamely alakcsapathoz alapú testmodellezővel, vagy esetleg szabványos elemtárból választunk ki, akkor az alkatrészhöz illeszkedő ellenőrzést futtathatunk le. Mivel itt a módszer a gépelemhez, illetve az adott programhoz igazodik, nagyon sok fajtája lehetséges.

Az alábbi példán egy mágnesszelep parametrikus modelljének érzékenységvizsgálata, ahol a szelep relatív pozíciójának függvényében számolhatjuk a nyitási nyomatékokat és a légrésfluxust.



4.27. ábra: Összetett alkatrész nyomaték- és fluxus elemzése

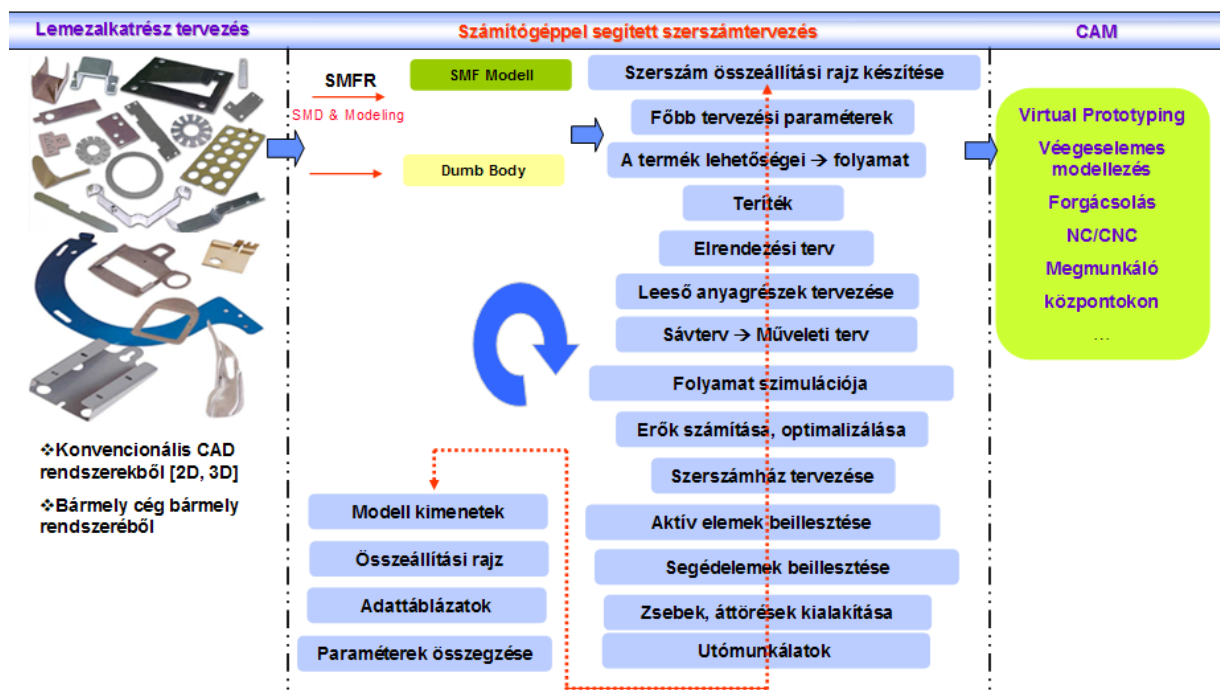
Forrás: [30]

A véges-elemes háló paramétereinek meghatározásakor ügyelnünk kell a megfelelő elemminőség biztosítására. A túl nagy elemméret pontatlansághoz vezet, ám a feleslegesen nagy elemszám hosszabb számítást igényel. A mágneses indukcióért – bár a vizsgálni kívánt szerkezet nem nagyméretű – célszerű a hálót a modell geometriájából adódóan bizonyos helyeken, illetve a vizsgálatunk szempontjából fontos helyen sűríteni, tehát a forgórész elemein és a tekercset támasztó alkatrészekben. Ügyelnünk kell arra, hogy a forgó- és állórész közötti résben a levegő hálóját is sűríteni kell.

A nemlineáris statikus mágneses analízishez meghatározhatjuk a terheléseket, amelyek a mágnes állásszögéből adódnak, valamint a tekercsen áthaladó áramerősséget, ami a jelen példában elsőként 1000 A. A geometriai modell előkészítésekor előállított levegőkörnyezet külső felületén a mágneses erőter potenciálja 0. A peremfeltételek meghatározása után kiválaszthatjuk, hogy a posztprocesszorban milyen értékeket szeretnénk lekérdezni, például a mágneses mező sűrűségét, illetve a mágneses erő eloszlását különböző tengelyek mentén, valamint az ébredő mechanikai nyomatékokat. Majd az analízis lefutása után kiértékelhetjük az eredményeket.

4.5 Adatátviteli lehetőségek, Parametrikus modellezés

A CAD/CAM integrációnak köszönhetően az adatátviteli lehetőségek széles köre elérhető a különböző programrendszerek, modulok között. A CAM módszertanának ismeretében egy példán keresztül illusztráljuk ezt a folyamatot. Példaként szolgáljon a képlékenyalakításnál alkalmazott módszertan, ahol a számítógéppel segített tervezési folyamat és adatátviteli lehetőségek sematikus folyamatábráját a 4.28. ábra mutatja.




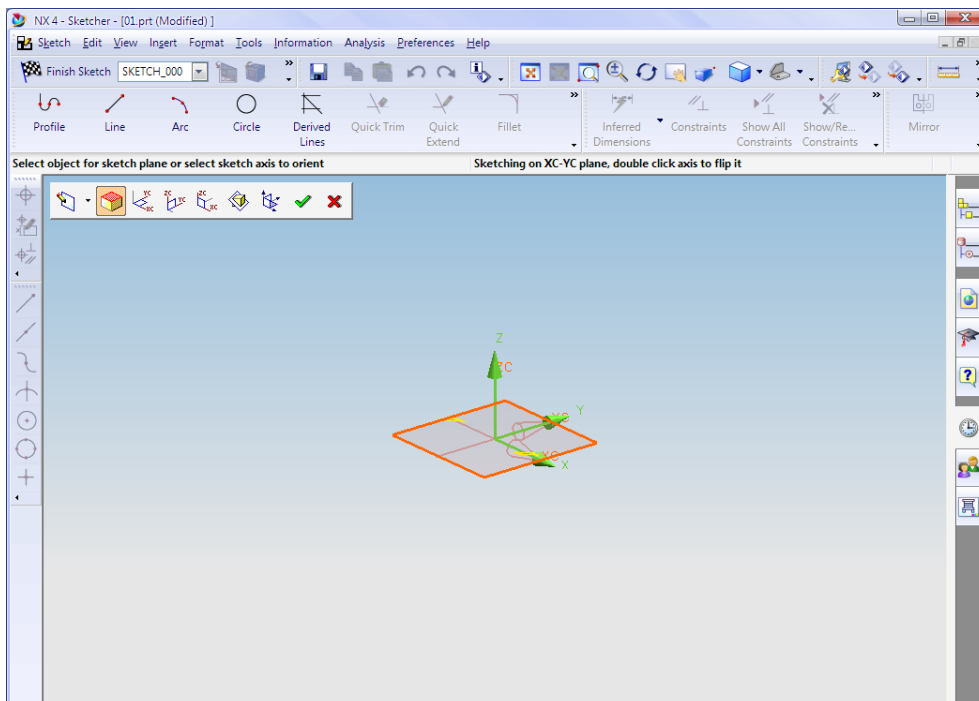
4.28. ábra: A tervezés folyamatábrája

A folyamatnak tehát vannak input paraméterei, mely lehet egy egyszerű „dumb body” amit bármelyik CAD rendszerben parametrizálás nélkül elkészíthetünk, vagy lehet parametrizált modell, mely már magában hordozza a 4.3. fejezetben leírt paramétereket. A folyamat eredményeképpen létrejött kimenetet tovább tudjuk hasznosítani a gyártóeszközünkön, CNC program formájában. Mint azt a 4.28. ábra mutatja, a tervezés egyes lépései követik a konvencionális szerszámtervezés lépéseit, természetesen megannyi a tervezést segítő, s egyúttal önellenőrző lépést is beiktatva. Az eredményeket a hagyományos módon is felhasználhatjuk a „Modell kimenetek” rész szolgáltatásait igénybe véve, illetve a Virtual Prototyping és a Rapid Prototyping – gyors prototípus tervezés – modern eszközeit alkalmazva akár a kész szerszámot is elkészíthetjük, ha a végeselemes szimuláció eredményeivel – feszültségi viszonyok optimalizálásával, veszélyes feszültséggyűjtő helyek kiiktatásával – elégedettek vagyunk, következhet a gyártóeszközünk paramétereit figyelembe vevő CNC program generálása. A program természetesen a szerszámgépen elvégzett szimulációs próbagyártás lefuttatása után lesz csak teljes értékű. A teljes értékű CNC program segítségével következhet a lemezalakító

sorozatszám elkészítése – ezek a feladatok többnyire 3D felület marást jelentenek – melynek komplex felületeit CNC megmunkáló központunkkal állíthatjuk elő.

4.5.1 Parametrikus modellkészítés - Példa


Ebben a fejezet részben egy autóiipari alkatrész (üzemanyag tartály előgyártmánya) képlékenyalakító szerszámának parametrikus tervezését és modellezését végeztük el. A parametrikus tervezést NX programban végeztük el, ennek lépései a következők. A modelling módba való belépés után a  gomb megnyomásával léphetünk be sketch módba. Ekkor az alábbi munkafelület jelenik meg.

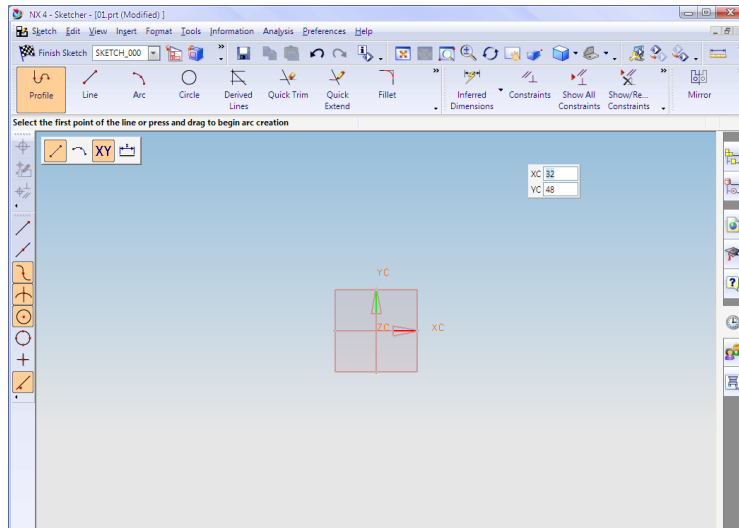


4.29. ábra: Sketch funkció

A felugró menüben kiválasztva a megfelelő síkot és a zöld pipára kattintva, elkezdhetjük a kiválasztott síkra a 2D sketch elkészítését.

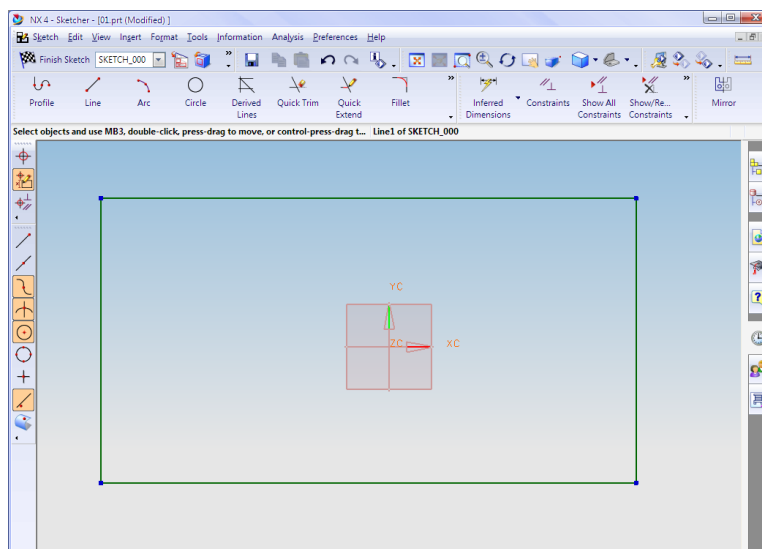
4.5.2 Példa megszerkesztése

Elindítjuk a programot. Eztán a menürészen az application menüből kiválasztjuk a modelling parancsot (ezt indíthatjuk a CTRL+M gombok együttes lenyomásával). Miután elindítottuk a modellezés részt, megjelennek a plusz gombok a menüben. Először is egy téglalapot kell rajzolnunk. Ehhez megnyomjuk a  azaz a sketch gombot. Ekkor megjelenik a szerkesztőablakban egy koordinátarendszer melynek alapnézete az x,y sík.



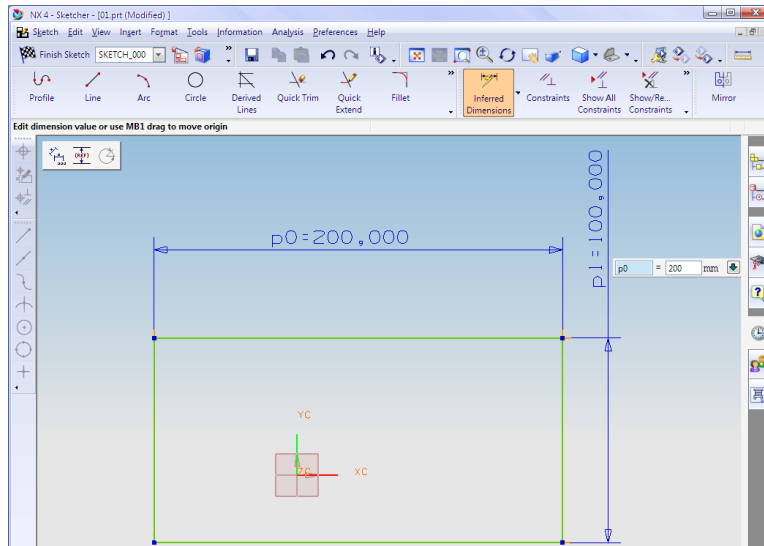
4.30. ábra: Szerkesztési sík

Elkészítjük az alkatrész alap geometriáját (egy téglalapot melynek méretei 100x200 mm), melyet a továbbiakban fel fogunk használni. Az alap rajzelemek amit felhasználhatunk a vonal, vagy a téglalaprajzoló eszköz, mely szintén az alap rajzelemekhez tartozik. A téglalap két sarokpontját kattintással letesszük, majd ezek után következő ábrán látható képet fogjuk látni munkablakunkban



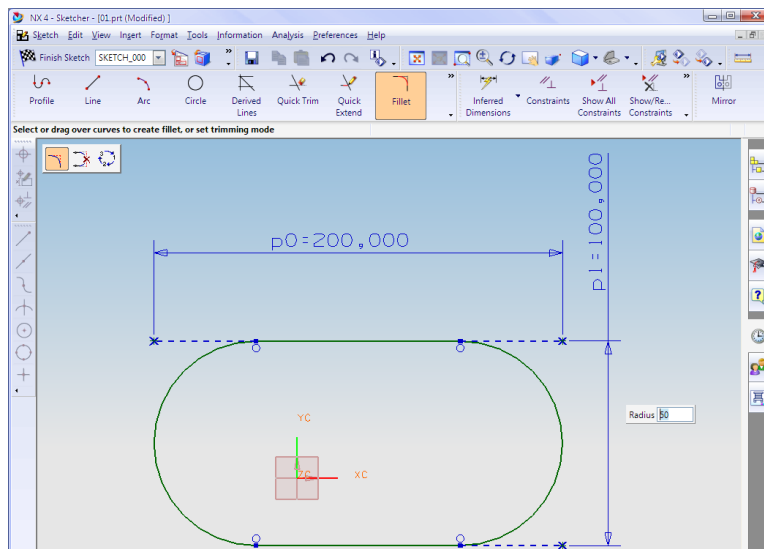
4.31. ábra: Téglalap rajzolása

Miután a téglalapunk még nincs beméretezve, ezért az inferred dimension gomb segítségével előhívjuk a méretezési üzemmódot (ez virtuális méretezés, műszaki rajzról nem jelenik meg!). Majd a téglalap két oldalára kattintva beírjuk a megfelelő hossz és szélesség méreteket. Ezután az alábbi eredményt kapjuk.



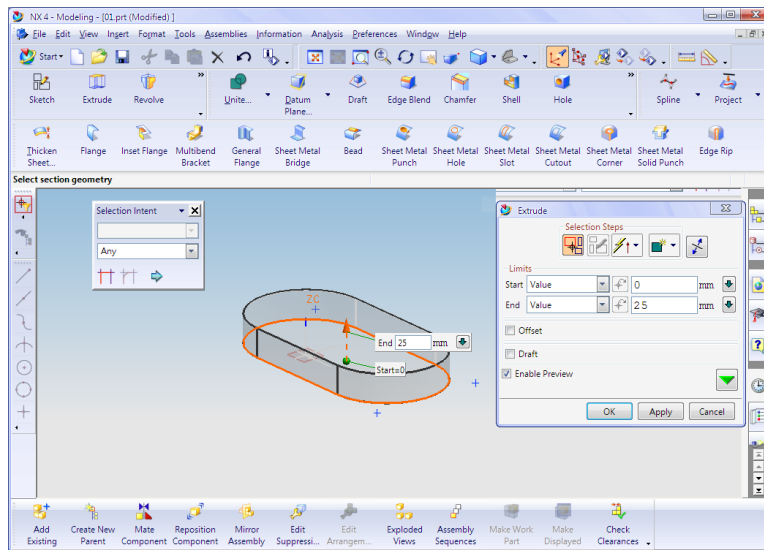
4.32. ábra: Méretezett téglalap

Ezután lekerekítjük a téglalap négy sarkát, 50-es sugárral, ezt úgy végezzük, hogy a fillet paranchnál a radius ablakba beírjuk az 50-es értéket. A sarokpontra, vagy az egymást követő két élre kattintva elvégezhető a művelet. Ennek eredményét szemlélteti a következő ábra.



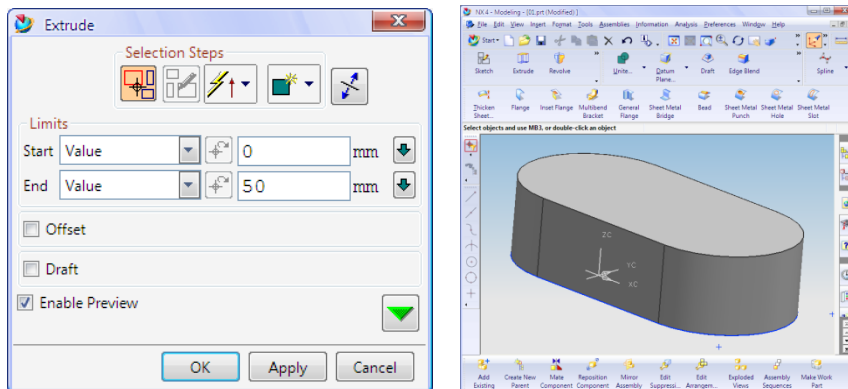
4.33. ábra: Lekerekítés elkészítése

Végezetül nyomjuk meg a fenti ábrán a bal felső sarokban látható kockás zászlót, amivel befejeztük a 2D szerkesztést. Ezután az extrude parancsot adjuk ki, és a következő módon kitöltve a felbukkanó ablakot kapjuk a kívánt eredményt.



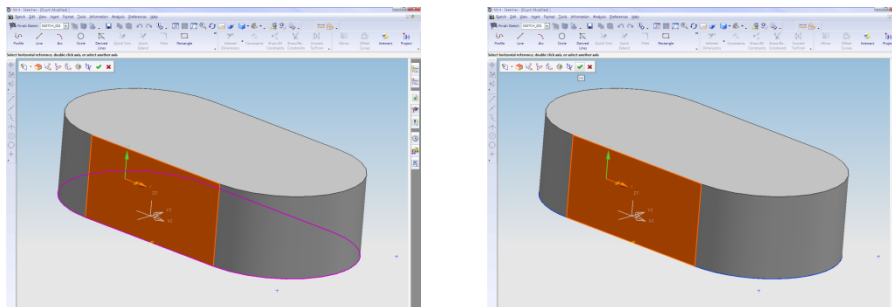
4.34. ábra: Extrudálási paraméter beállításai

Az extrude parancs használatához meg kell adnunk egy zárt síkbeli görbét, esetünkben az a görbét választjuk ki az egérrel, melyet az eddigiekben elkészítettünk. A felbukkanó ablakot az alábbi ábrán látható módon töltjük ki, majd az APPLY és az OK gombra kattintva elfogadjuk a műveletet. Amennyiben ez teljesül az ábra jobb oldalán látható alakzatot (solid modellt) kell kapnunk.



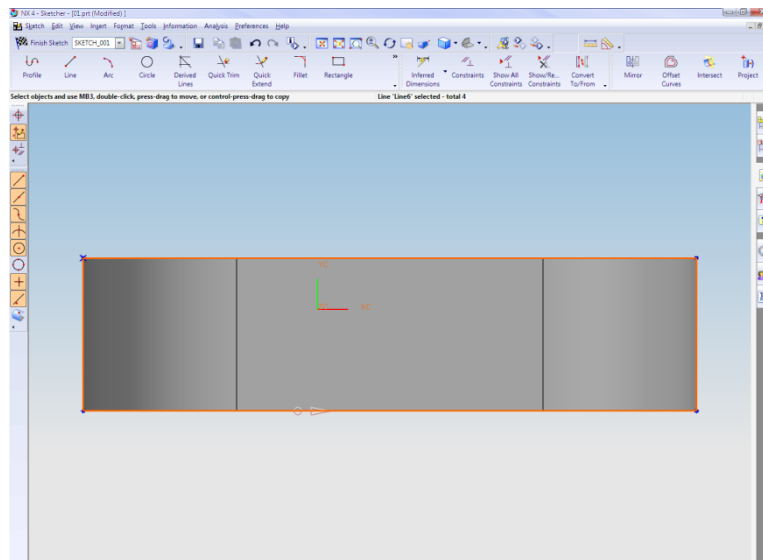
4.35. ábra: Extrude parancs paramétereit, és eredménye

Az elkészült test hosszabb oldalán található felületre – lehet a bal vagy a jobb oldali egyaránt – megadunk egy újabb síkot, melyre sketchet készítünk. Ennek módja, hogy a sketch parancsra kattintva egyszerűen kijelölöm a kívánt oldallapot, majd elfogadom a síkot a pipával, eztán kezdek rajzolni 2D-ben ismét. A folyamat lépései a következő ábrason láthatóak.



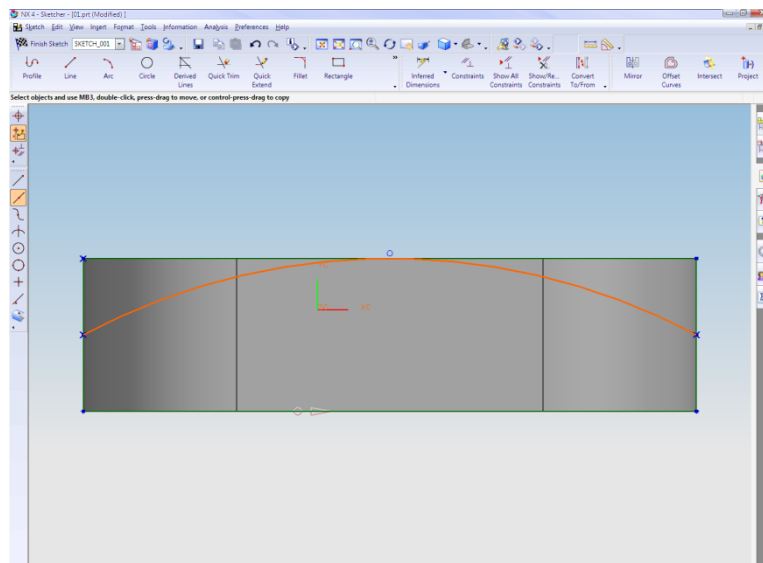
4.36. ábra: Sík megadása

A következő lépésként a már meglévő objektum pontjait használva elkészítünk egy téglalapot, melynek mérete 200x50 mm. Szerkesztésünk eredményeként az alábbi téglalapot kapjuk.



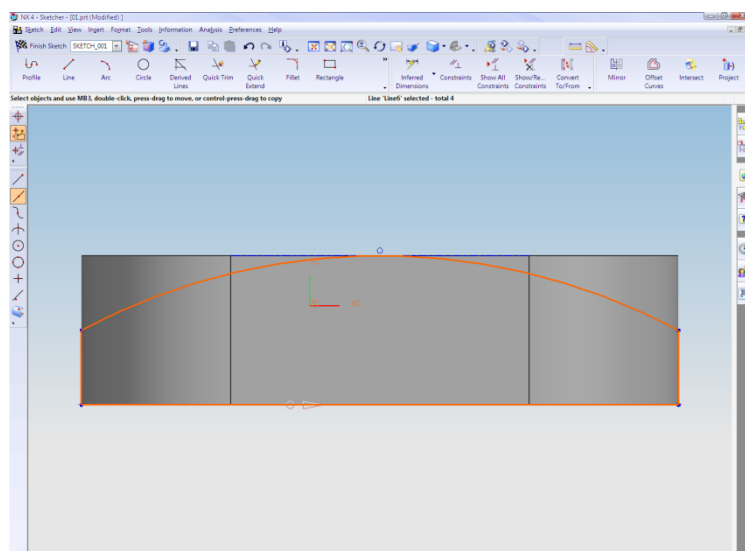
4.37. ábra: 1. szerkesztési lépés

Ezután egy ívet definiálunk az arc parancs alkalmazásával. Meg kell adnunk a két végpontot, melyek a téglalap rövidebb oldalainak felezőpontjai lesznek. A felső hosszabb oldal felező pontjával megadjuk az ív harmadik és egyben utolsó pontját. Ennek eredménye látható a következő ábrán.



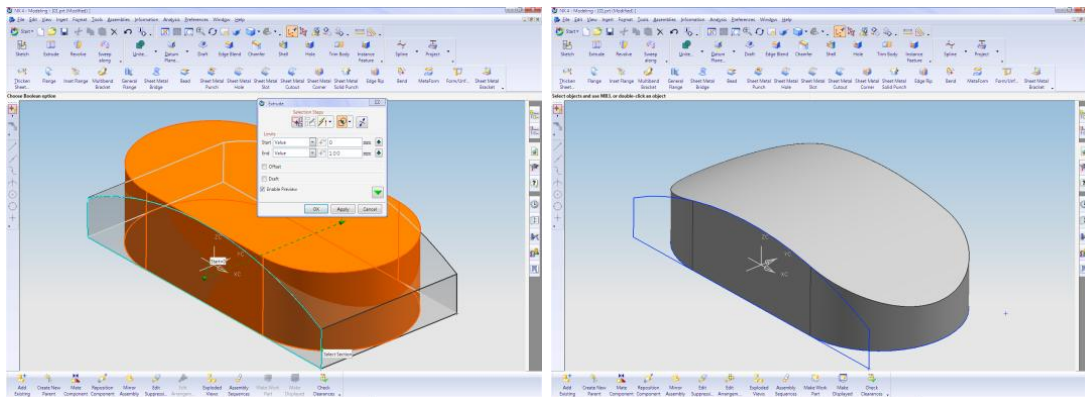
4.38. ábra: 2. szerkesztési lépés

Következő lépés a fölöslegessé vált egyenes szakaszok eltávolítása, melyet a quick trim gombra kattintva tudunk elvégezni. Ki kell jelölnünk a fölösleges elemet, majd rákattintva törlődik. Ennek eredménye látható a következő ábrán.



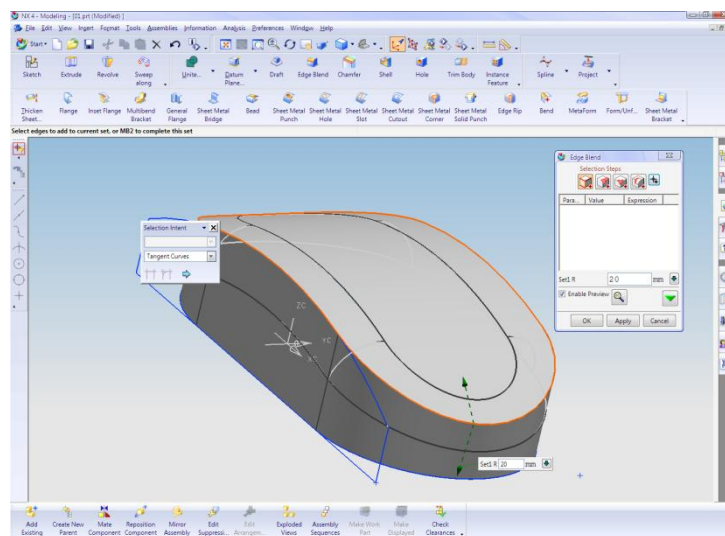
4.39. ábra: 3. szerkesztési lépés

Végezetül nyomjuk meg a fenti ábrán a bal felső sarokban látható kockás zászlót, amivel befejeztük a 2D szerkesztést. Ezután az extrude parancsot adjuk ki, és a következő módon kitöltve a felbukkanó ablakot kapjuk a kívánt eredményt. Az ablak kitöltéséhez a segédablak, valamint az eredmény látható a következő ábrán.



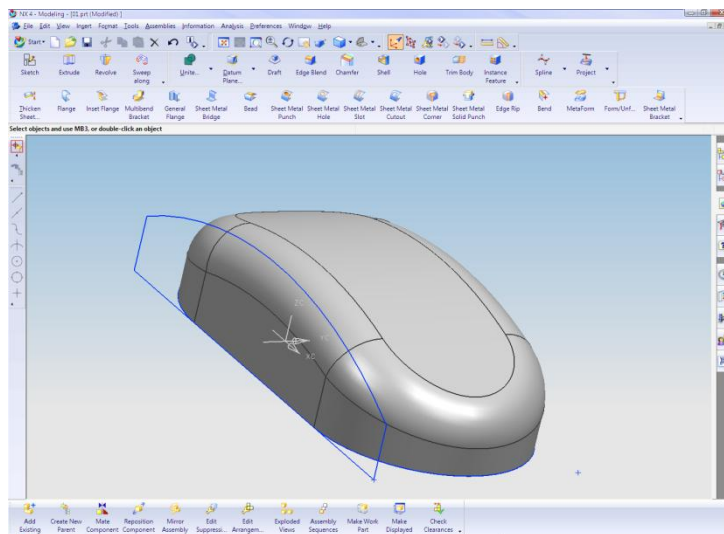
4.40. ábra: Extrudálás és boolean művelet egy lépésben

Végezetül az élék lekerekítéséhez az edge blend parancsot használjuk. Az alábbi ábrán is látható, hogy a parancs kiadása után megjelenik egy segédablak. Először kiválasztom a lekerekíteni kívánt éleket, és az ablakba beírom a lekerekítési – esetünkben $r = 20$ mm – sugarat.



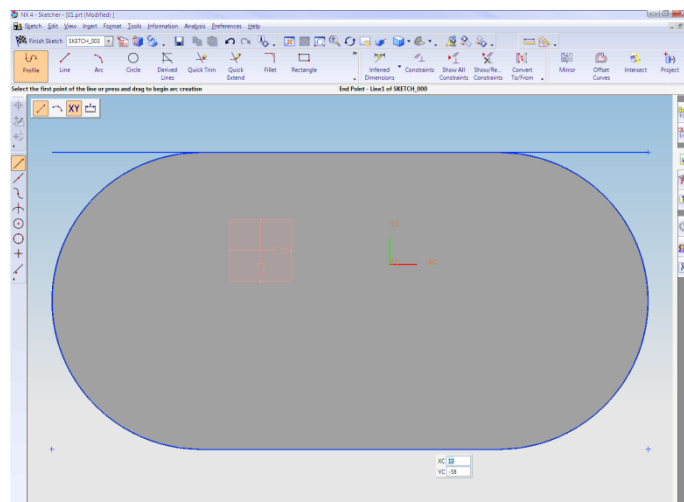
4.41. ábra: Élék lekerekítése

Az OK gombra kattintva, ezáltal a műveleti ablakot bezárva a következő ábrán látható eredményt fogom kapni.



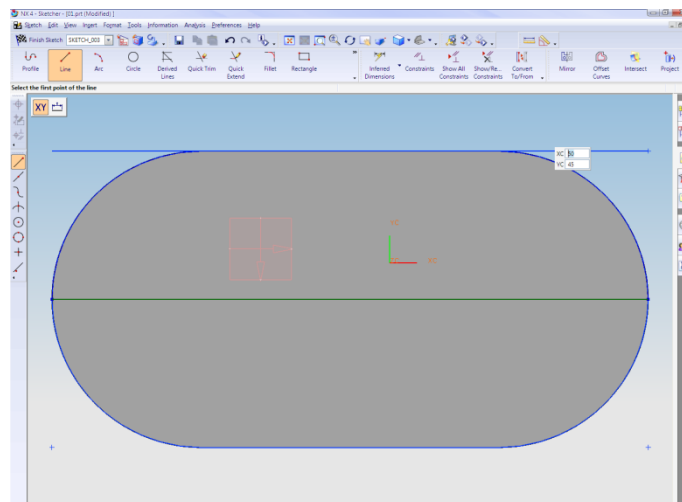
4.42. ábra: Az élek lekerekítési műveletének eredménye

Ezt követően elkészítünk egy következő sketchet amelynek alapsíkja az alsó lap lesz. A sík megadása után az alábbi ábrán látható síkon kezdjük meg a munkát.



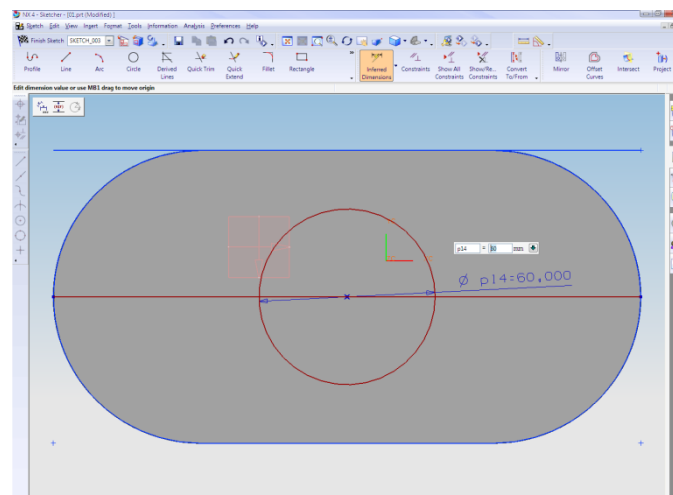
4.43. ábra: Szerkesztési sík megadása

A síkban szükségünk lesz egy segédvonalra, ennek szerkesztésével kezdjük. A vízszintes segédvonalakat a lekerekítési ívek találkozási pontjaiból indítjuk, és az ellenkező oldali találkozási pontra tesszük le a végpontját. A művelet eredménye látható a következő ábrán.



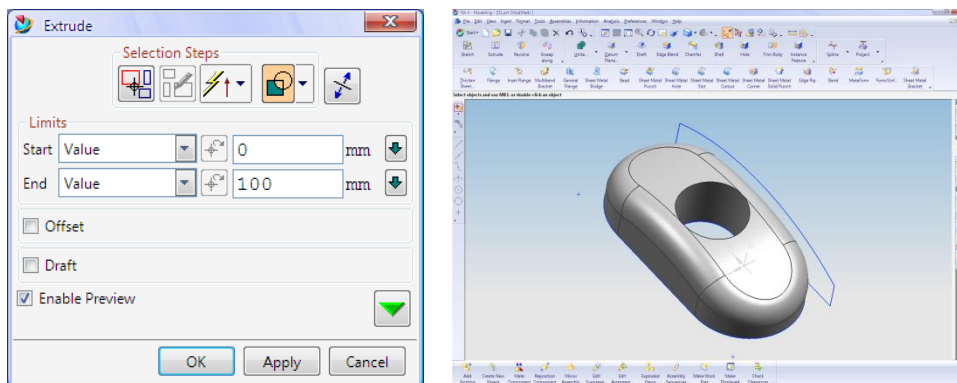
4.44. ábra: Segédvonal

A segédvonal felezőpontjában elkészítünk egy kört, melynek az átmérőjét – $d = 60 \text{ mm}$ – a már alkalmazott méretezési eljárással adjuk meg. A művelet eredménye látható a következő ábrán.



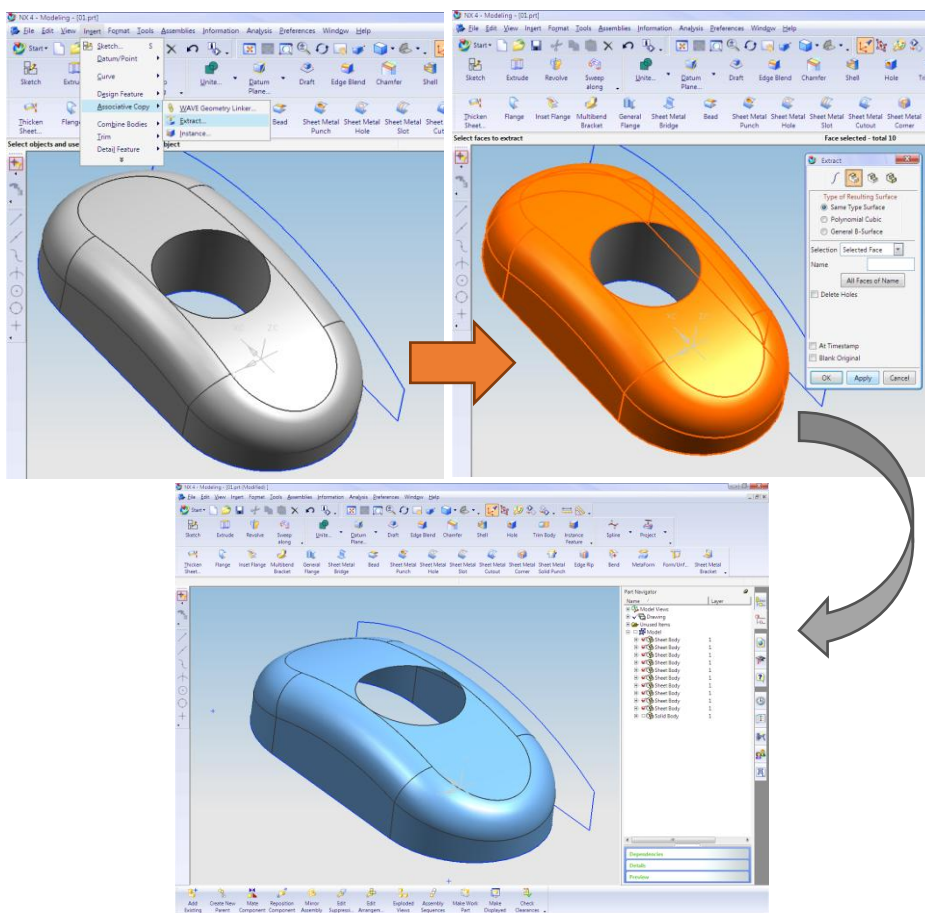
4.45. ábra: A kör elkészítése

A további munkához a segédvonalat a quick trim parancs segítségével eltávolítjuk, majd a sketchből kilépve folytathatjuk a munkát. Az extrudálási művelet segítségével elkészítjük a furatot. A felbukkanó segédablak kitöltését, és a művelet eredményeképpen létrejött modellt az alábbi ábrán láthatjuk.



4.46. ábra: Extrudálási paraméterek és a végeredmény

Az elkészült alkatrészt további műveletekkel felületmodellé alakítjuk, kiválasztjuk a felületmodell megalkotásához szükséges felületeket az elkészült solid elemekből álló testből, és a művelet végén kapjuk meg a shell elemekből álló modellt.



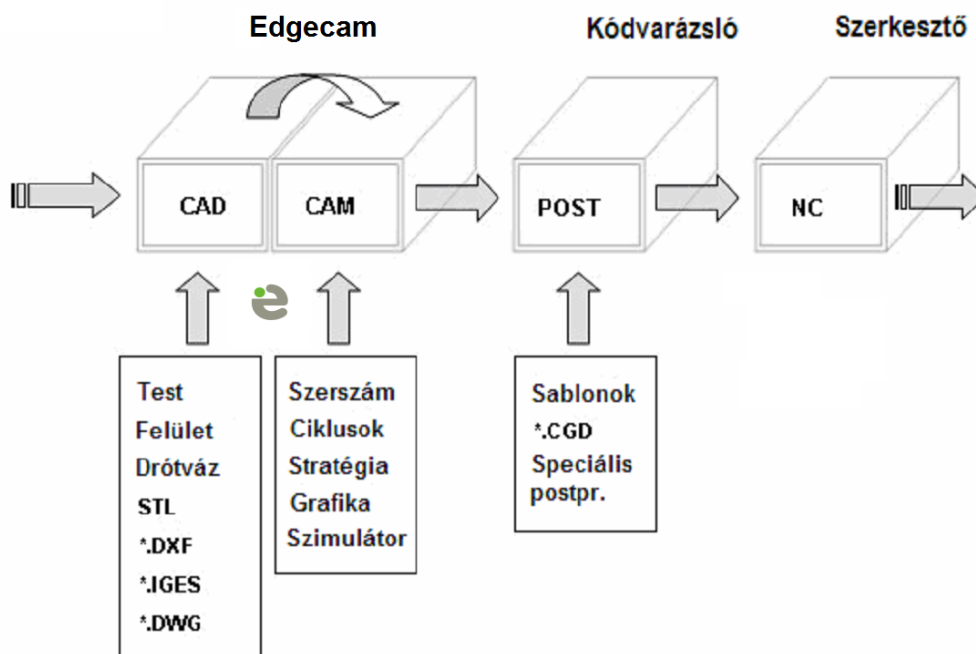
4.47. ábra: Parametrizált lemezmodell készítése

5 AZ EDGECAM WORKFLOW RENDSZER BEMUTATÁSA

Az Edgecam egy számítógéppel támogatott gyártástervező rendszer (CAM) rendszer, modellezési (CAD) funkciókkal, ami lehetővé teszi az alkatrészek modellezését, és azok forgácsoló megmunkálásának tervezését. Az Edgecam lehetőséget nyújt:

- alkatrészek 2D/3D drótváz-, felület- vagy testmodellezésére vagy importálására más CAD rendszerekből,
- előgyártmány és készülék létrehozására,
- az alkatrész megmunkálásához szükséges szerszámgép és szerszámok kiválasztása,
- a létrehozott szerszám pályák szimulációjára,
- a kiválasztott szerszámgépen futtatható CNC program generálása,
- kommunikációra a szerszámgépvezérlővel,
- megmunkálási adatbázis kezelésére és gyártási dokumentáció készítésére [33].

A lenti ábrán egy tipikus Edgecam folyamat látható, ami bemutatja azon egymást követő események láncolatát, melyeket végre kell hajtanunk annak érdekében, hogy a rendszerből megkaphassuk a kívánt CNC programot.



5.1 ábra: Edgecam folyamat

Forrás: [33]



Az Edgecam megoldások ötvözik a kifinomult szerszámpálya generálási lehetőségeket a közvetlen CAD integrációval. Az Edgecam Testmegtömlesztés a natív adatokat olvassa be valamennyi jelentős CAD rendszerből, kiküszöbölve az adatfordítási problémákat, vagy a külső fejlesztésű kapcsolófelületek esetleges problémáit. A korszerű, testalapú megtömlesztés automatikus alaksajátosság felismerést és teljes modell-szerszámpálya asszociativitást nyújt a felhasználók számára [32].

Az Edgecam Szimulátorban elérhető a szerszámgép pontos modellje a revolverekkel, főorsókkal, és valamennyi mozgó elemmel a teljes szerszámgép szimulációhoz és ütközésvizsgálathoz, ami segít a felhasználóknak a költséges ütközések elkerülésében, a forgácsolási folyamat optimalizálásában és a ciklusidő csökkentésében.

Az Edgecam az alkatrész gyártó üzemeket rugalmas maróciklusok széles választékával ruházza fel. A megtömlesztési hatékonyság maximális az egyszerűbb és az összetettebb prizmatikus alkatrészeknél éppúgy, mint azoknál a szerszámelemeknél, amelyek bonyolult felületelemeket tartalmaznak. A prizmatikus alkatrészek megtömlesztését egyszerűen kombinálhatjuk a hatékony 3D-s test és felületmarási stratégiákkal egyetlen teljes megoldásban. A nagy teljesítményű 3-tengelyes ciklusokat számos folytonos 4- és 5-tengelyes stratégia is kiegészíti, a megtömlesztési folyamat rugalmasságának és hatékonyságának növelése érdekében.

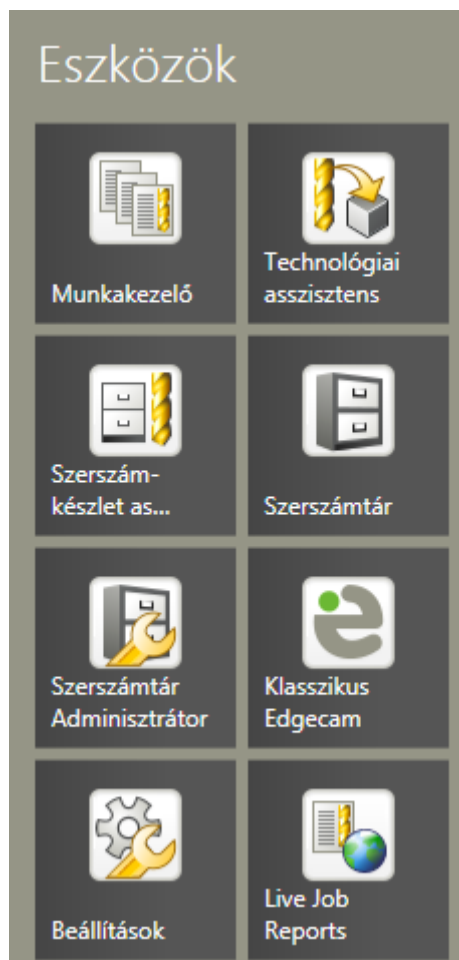
Az Edgecam eszterga szerszámgépek széles skálájának programozására nyújt megoldást, beleértve a 2-tengelyes esztergákat, a többrevolveres kiépítéseket, a segédorsós esztergaközpontokat és a maró/esztergáló központokat. Maró/esztergáló központokon a C-, Y- és B-tengelyes marás ugyanabban a programban végezhető, ahol az esztergálás, ami teljesen integrált és asszociatív programozási megoldást biztosít. Az Edgecam korszerű nagyoló és simító esztergáló ciklusokat készít, támogatva a keresztesztergálást, furatesztergálást és a fúróciklusokat mind belső ciklusokként, mind lépésenkénti formátumban. A szerszámpálya generálásnál a rendszer figyelembe veszi a teljes szerszámlapkát, valamint a korábban lemunkált anyagot, annak érdekében, hogy elkerülje az ütközést és a kiküszöbölje a felesleges megtömlesztési mozgásokat. Az Edgecam támogatja a Wiper típusú esztergalapkákat, lehetővé téve, hogy ezen termelékenységnövelő lapkákat az alkatrészgyártás minden tekintetében megbízhatóan alkalmazza.

Az Edgecam huzalos szikraforgácsoló modulja rugalmas megoldást nyújt 2- és 4-tengelyes alkatrészeik pontos és hatékony megtömlesztéséhez. A magas funkcionalitás lehetővé teszi akár a bonyolult alakú és változó falferdeségű alakok egyszerű megtömlesztését is. A modul széleskörű szerszámgép adatbázist tartalmaz a vezető szerszámgépgyártók gépeivel, mint például az Agie, CMD, Charmilles, Brother, Fanuc, Hitachi, Makino, Ona, Sodick, Seibu és Mitshubishi. A posztprocesszorok nem csupán az általános G- és M-kódokat tudják használni, hanem egyszerűen testreszabhatóak, hogy megfeleljenek a különböző gépmoделleknek és konfigurációknak. A programozás során számos különböző módszert választhat felügyeletmentes megtömlesztéshez. Ha szerszámgép képes automatikus huzalbefűzésre, akkor valószínűleg a lehető leghosszabban és leggyakrabban alkalmazott felügyeletmentes futtatás a legcélravezetőbb. Ez a kieső darabok egybetartását igényli, valamennyi nagyoló vágás végrehajtásáig. Erre számos megoldás van, például az összes nagyoló vágás végrehajtása simítások előtt, amelynél minden nagyoló vágás végrehajtásra kerül a tartóhidak levágása előtt, majd a hidak levágását követően kerül sor a simításokra.



Alternatívaként minden nagyoló és simító vágás elvégezhető a tartóhidak eltávolítása előtt. Majd a hídterületek simítására külön kerül sor a tartóhidak levágása után.

Az Edgecam folyamatosan fejlődik a felhasználói igényeknek és a műszaki környezet fejlődésének (beleértve a szerszámokat, a szerszámgépeket és az informatikai környezetet) megfelelően. Mivel mind az informatikai környezet, mind a gyártási átfutási idők és ezáltal a programozási idő szükségszerű rövidülése ezt indokolta, az Edgecam bevezetett egy teljesen új 5 lépéses programozási munkafolyamot, amit egy ahhoz igazodó, és az aktuális informatika irányvonalnak megfelelő, menüszalagos felhasználói felülettel támogatott meg. Ezzel egyidejűleg vezette be a rendszer az új Edgecam indítópultot, amiben elérhető valamennyi, az Edgecam Workflow működését támogató kiegészítő eszköz. A rendszer hagyományos, régóta elérhető kiegészítő eszközei a Kódvarázsló, a Stratégiakezelő, az NC szövegszerkesztő, a Szerszámtár, a Szerszámkészlet és a Technológia asszisztens, a Munkakezelő és Munkajelentések, az RS232 kommunikáció, a Szimulátor (5.2 ábra).



5.2 ábra: Hagyományos kiegészítő eszközök

A Workflow vezetett be a három új hatékonyságnövelő eszközt. Ezek a Szerszámgép kezelő, a Készülék kezelő és az Előgyártmány kezelő (5.3 ábra).



5.3 ábra: Workflow kiegészítő eszközök

Az előgyártmány kezelőben tudjuk tárolni azokat az előgyártmányokat, nyers darabokat, amelyeket betöltés után meg fogunk munkálni. Itt beállíthatjuk az előgyártmány alakját (hengeres, cső, hasáb, hatszög vagy akár általunk megadott elem), valamint kiválaszthatjuk az anyagminőséget. Az előgyártmány kiválasztása és adatainak (alak, ráhagyások) beállítása során a modell dinamikusan frissülő képét nyomon követhetjük a munkakörnyezetünkben, ezáltal könnyebben meg tudjuk állapítani, akár ránézésre is, hogy milyen darabra lesz ténylegesen szükségünk.

A szerszámgép kezelőben tároljuk a különböző szerszámgépeinket, posztprocesszorainkat, amelyeket később a darab megmunkálása során ki fogunk választani. Ez a gyűjtemény segít



rendszerezni, jobban átláthatóvá tenni a gépeket, majd kijelölni az alkalmazandó technológiához megfelelőt, amelyen képesek leszünk megmunkálni az adott alkatrészt. Megmutatja, melyik gép milyen vezérlőrendszerrel, mekkora mozgástartománnyal rendelkeznek, milyen környezetben dolgoznak. Itt adhatjuk hozzá a különböző posztprocesszorainkat is. A posztprocesszor a szerszámgépek programszerkezetét figyelembe véve állítja elő a programot a kiválasztott vezérlésre, így a valósághoz hű gyártás tervezése még jobban megvalósítható.

Készülékkezelőben tároljuk a különböző készülékeinket – satuk, tokmányok, befogók, egyedi megfogások-amelyeket a megmunkálás során használni fogunk. Itt a már meglévő adatbázisból kiválasztott megfogást is használhatunk, újat készíthetünk, vagy egy már meglévőhöz rendelhetünk hozzá általunk megadott paramétereket. A megmunkálás során, a kezelő a munkadarab és a megfogások méreteit összevetve automatikusan szűrést készít, majd csak azokat a készülékeket ajánlja fel, amivel meg is valósítható a megfogás.

Mivel a sokszereplős piacokon az automatizálás a programozási idő csökkentésének és a hatékonyság növelésének kulcsa, ezért az Edgecam lehetőséget nyújt az egyedi céges tudás és tapasztalatok felhasználására a CAM programozási folyamat automatikus eszközökkel történő vezérléséhez – biztosítva a gyártó cégek versenyképességének megőrzését.

Az Edgecam Workflow rendszerben az automatizálás 3 szintjén tudunk szerszám pályát generálni. Az automatizmus szintjét az alkatrész bonyolultsága határozza meg, így, minél egyszerűbb alakelemekből épül fel az alkatrész, annál inkább tudunk támaszkodni, az Edgecam által felkínált automatikus szerszám pálya tervezésre, amelyek háttérét a Stratégiakezelőben rögzített, a szoftverfejlesztő által biztosított, vagy akár a felhasználó által, saját gyártási tapasztalatai alapján rögzített megmunkálási stratégiák adják.

Ennek megfelelően egyszerű „prizmatikus” alkatrészek esetén, ahol valamennyi megmunkálendő felület függőleges falú, vagy állandó falferdeségű, az alkatrész megmunkálását teljesen automatikusan végezhetjük. Olyan alkatrészeknél, amelyek jellemzően „prizmatikus” elemekből - zsebekből, szigetekből és furatokból – épülnek fel, de rendelkeznek szabadformájú felületekkel is, fél-automatikus megoldást alkalmazhatunk. Bonyolult 3D-s geometriáknál, szerszám elemeknél, pedig jellemzően a hagyományos, manuális CAM programozást használhatjuk.

Függetlenül az automatizálás szintjétől, az Edgecam Workflow egymást követő lépésekkel vezeti végig a felhasználókat a megmunkálási folyamat minden fázisán, a menüszalagos eszköztáron balról jobbra haladva.

Az első lépés a testmodell betöltése, amely során a testmodell analizálásra kerül annak meghatározásához, hogy maráshoz vagy esztergáláshoz felel meg jobban, majd a megfelelő irányba beforgatva kerül elhelyezésre, és beállításra kerül egy alapértelmezett nullpont. Az Alkatrész-beállítás lehetővé teszi az anyagválasztást és szükség esetén a nullpont is egyszerűen módosítható és az alkatrész is elforgatható.

A második lépés a beállítás, amely során az Eszköztár opcióit jobbról balra alkalmazva, előgyártmányt és készüléket adhat a modellhez, majd kiválaszthatja a szerszámgépet és opcionálisan választhat egy szerszámkészletet.

A harmadik lépésben az Alaksajátosság kereső segítségével kereshet furatokat, zsebeket és szigeteket a testmodellen, amelyekre a negyedik lépésben végezheti el a megmunkálási



sorrend meghatározását és a programozást manuálisan vagy a megmunkálási stratégiák alkalmazásával. Végül, utolsó lépésként végezheti el a megmunkálás szimulációját és az NC program generálását.

Az Edgecam Workflow automatizmusait az Edgecam Stratégiakezelő biztosítja.

Az Edgecam Stratégiakezelő tartalmazza a legjobb alapelveket, tapasztalatokat és alaksajátosság alapú megmunkálási technológiákat, és felhasználja ezeket a gyors, megbízható és magas szinten automatizált megoldás előállításához a testalapú megmunkálásban.

Az Edgecam Stratégia Kezelő magja egy egyszerűen kezelhető, a megmunkálási stratégiákat reprezentáló folyamatára. Az Edgecam Stratégiakezelő nem ír elő szabályokat vagy munkafolyamatokat. Ehelyett lehetővé teszi, hogy a cégek hasznosítsák munkaerejük tudását és tapasztalatait, minden egyes megmunkálandó alkatrészre. Mivel az interaktív folyamat egy egyszerű folyamatábrán alapszik, nem szükséges semmilyen programnyelv ismerete, és a programozó egyszerűen és gyorsan módosíthatja a stratégiákat.

Az Edgecam Stratégia kezelő rögzíti a megmunkálási tapasztalatainkat egy egyszerű folyamatábrában, hogy meghatározza az alkatrész megmunkálásának szabályait. Néhány egyszerű lépéssel érezhetően csökkenthetjük a programozás időt és következetes NC kódot készíthetünk.

6 CAM GYAKORLATI ALKALMAZÁSA – IPARI PÉLDÁK

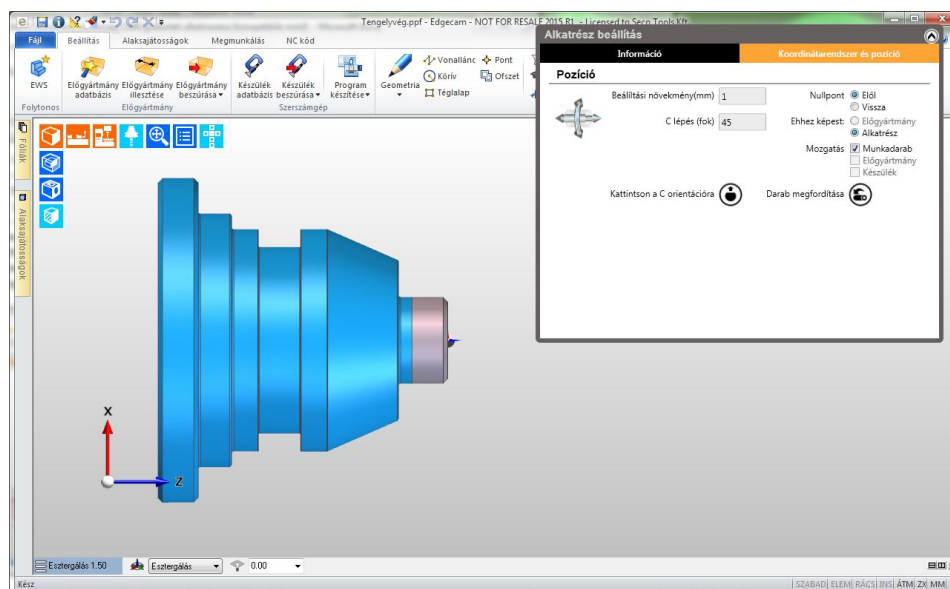
Ebben a fejezetben a fent tárgyalt különböző automatizálási szinteknek megfelelő megmunkálási módokra nézünk meg egy-egy példát egy tengelycsonk esztergálásán, és egy kovácsszerszám marásán keresztül. Az esztergálást teljesen automatikusan végezzük, míg a szerszámmarásnál különös hangsúlyt fektetünk a manuális programozásra, ami a legnagyobb technológiai és programozás-technikai szaktudást igényli a programozótól.

6.1 Tengelycsonk esztergálása automatikus CAM programozással

Elsőként nézzük meg egy tengelycsonk esztergálásának programozását. Mivel az alkatrészen csak 2-tengelyes esztergálási feladatok vannak, megmunkálásához az Edgcam automatikus CAM programozási lehetőségeit maximálisan ki tudjuk használni [37].

6.1.1 A megmunkálandó alkatrész betöltése

Az alkatrész bonyolultságától függetlenül, a modellbetöltés teljesen azonosan történik. Először megnyitjuk a testmodellünket, ami lehet bármilyen natív fájl (CAD rendszer saját fájlformátuma, pl. Solid Edge, SolidWorks, Inventor, NX, Creo vagy Catia v5), vagy közbelső fájlformátum (pl. STEP vagy Parasolid (X_T)). Ez történhet a Fájll menüben, vagy egyszerűen a megmunkálandó fájlt a Windows Intézőből az Edgcam ablak fölé húzva. Ekkor az Edgcam automatikusan beforgatja az alkatrészt az esztergáláshoz és beállítja az alapértelmezett nullpontot. A megmunkálandó darabnál az Edgcam a 6.1 ábrának megfelelően forgatja be az alkatrészt maráshoz, azaz a darab forgástengelyét beforgatja a Z-tengely irányába, a nullpontot, pedig elhelyezi a darab homloklapfelületén.



6.1 ábra: Alkatrész beállítás esztergáláshoz az Edgcam Workflow rendszerben

Amennyiben a nullpont helyzete nem megfelelő számunkra, azt az „Alkatrész beállítás” ablakban egyszerűen módosíthatjuk a „Koordináta-rendszer és pozíció” oldal Pozíció szakaszában, úgy, hogy a darab hátfelületére kerüljön, vagy a vízszintes nyíl egyik végére



kattintva, eltolhatjuk a növekmény mezőben megadott értékkel. Amennyiben a darabelhelyezés irányát kívánjuk módosítani, azt a nyílra kattintva tehetjük meg, amelyik irányba a darabot el kívánjuk forgatni a C lépés mezőben megadott szögértékkel, vagy a C-orientációra kattintva beforgathatjuk a darabot. A darabot át is fordíthatjuk, ha a másik oldalról akarunk dolgozni. A darabelhelyezés megadását követően az „Alkatrész beállítása” ablak „Információ” oldalán megadhatja a munkadarab anyagát, annak érdekében, hogy az Edgcam a megfelelő szerszámot és technológiát válassza ki a megmunkáláshoz.

6.1.2 Megmunkálás beállítása

Az alkatrész betöltését követően végrehajtjuk az előgyártmány, a készülék és a szerszám gép megadását.

6.1.2.1 Előgyártmány megadása

Amennyiben az előgyártmányt elmentettük az Edgcam Előgyártmány kezelőjében, akkor azt az Előgyártmány adatbázis pontban tudjuk betölteni. Amennyiben valamilyen, alakos előgyártmányt kívánunk használni, aminek elérhető a 3D-s testmodellje, azt az Előgyártmány beszúrása pontban szúrhatjuk be, vagy ha már az alkatrésszel együtt betöltöttük, akkor az Előgyártmány beszúrása pont lenyíló menüjéből használhatjuk az Előgyártmány kiválasztását.

Leggyakrabban az Előgyártmány illesztése utasítást használjuk. A párbeszédablakban esztergálás esetén automatikusan Henger alakú előgyártmány jelenik meg. Az interaktív grafikus ablakban (6.2 ábra) egyszerűen beállítható a nyersdarab mérete. Jelen esetben 1mm ráhagyást adunk meg a homloklapfelületre, és 25mm-t megfogáshoz a hátfelületre.

Előgyártmány illesztése

Adja meg az előmunkált darab méreteit. Adjon meg ráhagyásokat és a végleges előgyártmány automatikusan elkészül.

Alkatrész hossza (130,000mm)	
Előgyártmány hossza	156,000 mm
Homloklapfelület ráhagyás	1,00 mm
Hátfelület ráhagyás	25,00 mm
Alkatrész átmérője (146,000mm)	
Előgyártmány átmérő	146,000 mm



	<input type="button" value="OK"/>	<input type="button" value="Mégsem"/>
--	-----------------------------------	---------------------------------------

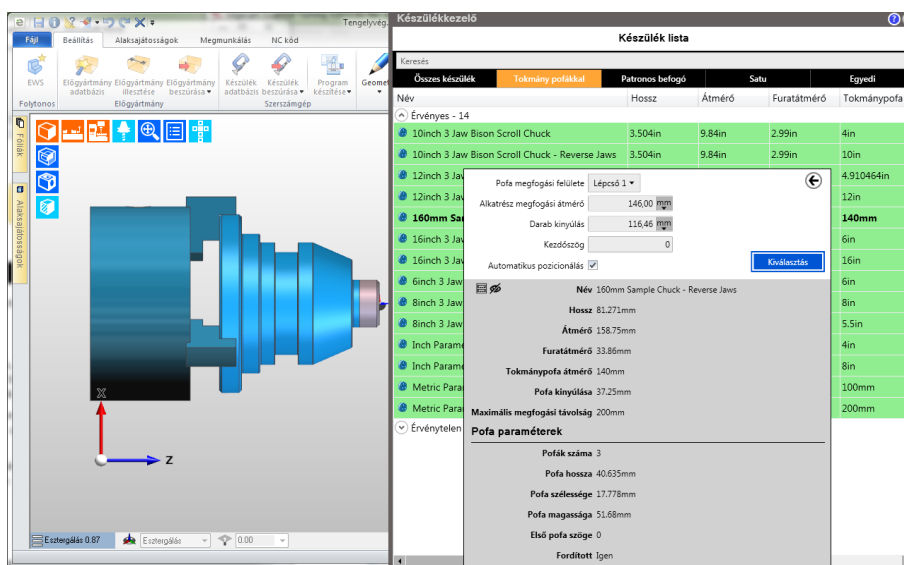
6.2 ábra: Előgyártmány illesztése

6.1.2.2 Készülék definiálása

Készülékek esetében is használható a Készülék beszúrása, amennyiben elérhető a készülék 3D-s testmodellje, vagy ha azt már az alkatrészrel együtt betöltöttük, akkor itt is a Készülék beszúrása pont lenyíló menüjéből használhatjuk a Készülék kiválasztását.

Mivel esztergálásnál jellemzően tokmányt vagy patront használunk, célszerű azokat elmentenünk az Edgecam Készülék kezelőjében, majd alkalmazni a megmunkálás és a szimuláció során (6.3 ábra).

A készülékkezelőben most kattintsunk a 160mm-es, fordított pofákkal szerelt tokmányra. Hagyjunk minden beállítást alapértéken, és válasszuk ki a tokmányt a Kiválaszt gombbal.



6.3 ábra: Tokmányválasztás

6.1.2.3 Szerszámgép kiválasztása

A szerszámgép kiválasztását és a megmunkáló-program definiálását a Program készítése utasítással végezhetjük el. A megjelenő ablakban (6.4 ábra) az Edgecam alapértelmezésben csak azokat a gépeket mutatja, amelyek a munkatér alapján megfelelőek a darab elkészítéséhez. Válasszuk ki a „Sample lathe 2 axis mm.tcp” posztprocesszort. A „Létező szerszámkészletek” közül választható egy korábban összeállított szerszámkészlet a megmunkáláshoz, de egy új név megadásával létrehozhatunk egy üres szerszámkészletet, amit a megmunkálás során töltünk fel szerszámokkal. Válasszuk ki a „Workflow EssentialTurn-mm” szerszámkészletet.



Esztergáló program készítése

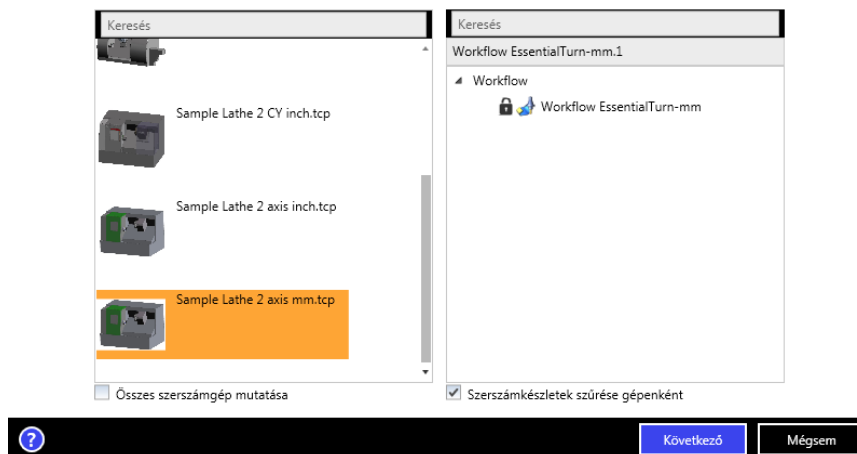


Válasszon szerszámgépet és szerszámkészletet

A kiválasztott szerszámkészlet lemásolásra kerül és ki lesz bővíve a neve .1 utótaggal.
Vagy oldja fel a kiválasztott szerszámkészlet zárolását, hogy azt használhassa,
Vagy törölje ki a szerszámkészlet nevet, ha nem kívánja használni.

Szerszámgépek

Létező szerszámkészletek

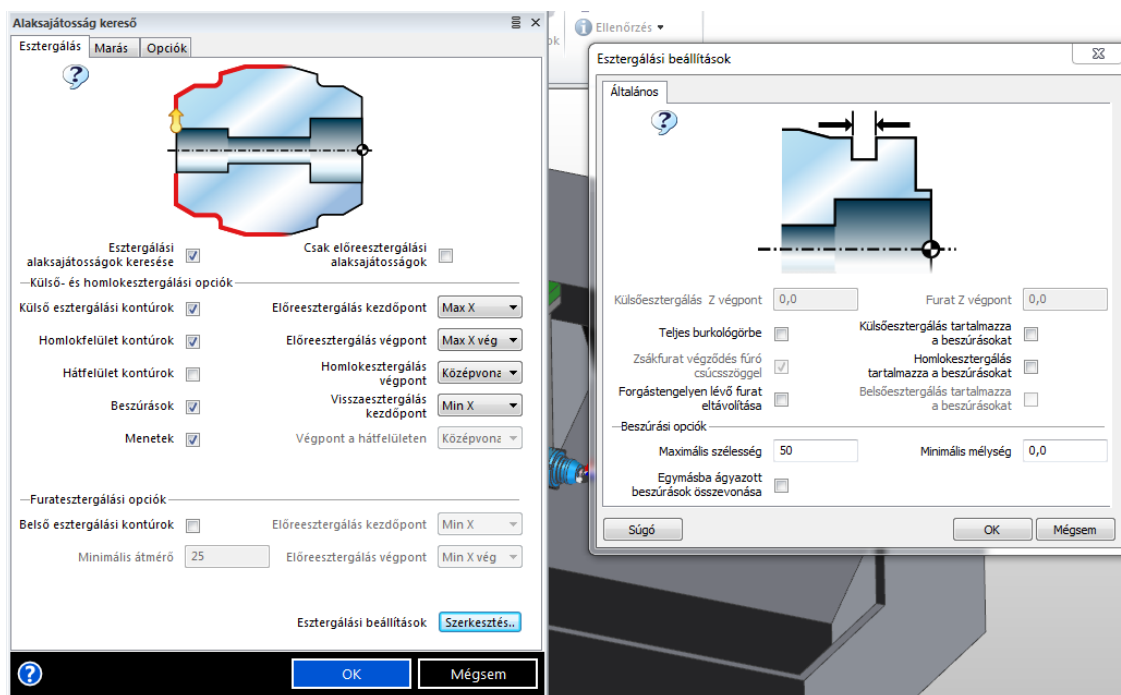


6.4 ábra: Esztergáló program készítése

A következő oldalon nem szükséges semmit átállítani, itt lehetne módosítani a kiindulási koordináta-rendszert (KKR), és ha nem adtunk volna meg tokmányt, akkor a darab kinyúlást a tokmányból. Végül az utolsó oldalon összefoglalva látjuk a megmunkáló program fő paramétereit, valamint megadhatunk Mozgóbábot, Szegnyerget, vagy egy Biztonságos kezdőpozíció beállításával, bekapcsolhatjuk a háttérben történő programfeldolgozást, ami nagybonyolultságú daraboknál jelentősen csökkentheti a programozási időt, mivel az Edgecam ennek segítségével egyidejűleg több szálon tudja végezni a programszámítást, és számítás közben is lehetőséget nyújt az új ciklusok definiálására.

6.1.3 Alaksajátosság keresés

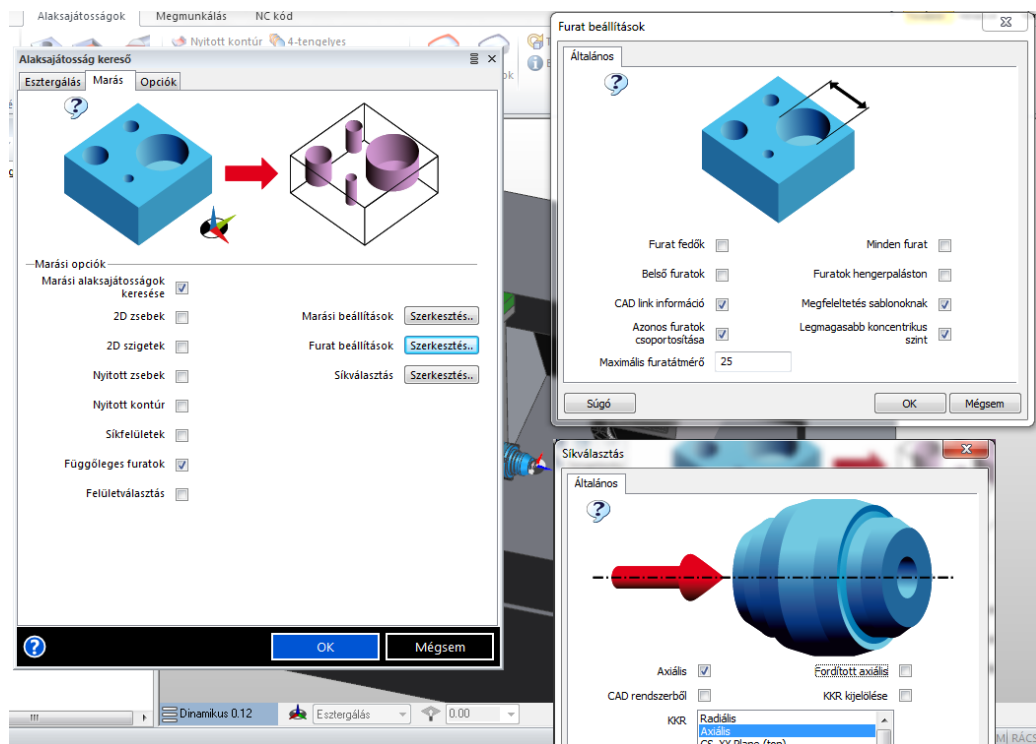
A következő, Alaksajátosságok lapon tudjuk a megmunkálandó, összetartozó felületcsoportokat és esztergálási burkológörbét legyűjteni, amelyeket egy műveletelemben, azaz egy ciklussal kívánunk megmunkálni. Ezeket az elemcsoportokat nevezi az Edgecam megmunkálási alaksajátosságoknak. Ezek felismertetése történhet automatikusan az Alaksajátosság kereső segítségével, vagy manuálisan kijelölve a felhasználó által felismert alaksajátosságokat.



6.5 ábra: Alaksajátosság kereső esztergálási beállításai

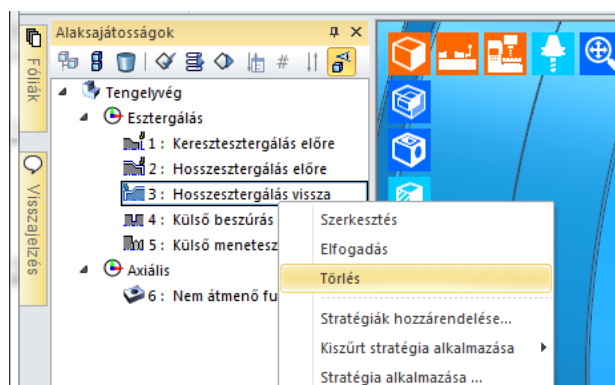
Az esztergálási alaksajátosságok nem a testmodell elmetszésével jönnek létre, hanem annak megforgatásával, burkológörbeként. Ezért az esztergálási alaksajátosságokat a rendszer nem forgásszimmetrikus elemeken (pl. bütykös-tengely) is fel tudja ismerni, a marással történő munkálást megelőző esztergáláshoz. Az esztergálási alaksajátosságok keresését a 6.5 ábrának megfelelően állítjuk be.

Fúrasi (forgószerzámos) alaksajátosságként csak a központfuratot kell felismertetnünk, így a furatkeresését kell beállítanunk, és meg kell adnunk, hogy melyik síkon keressen a rendszer furatokat.



6.6 ábra: Alaksajátosság kereső marási beállításai

Az Alaksajátosság keresőt bezárva a rendszer megkeresi az alaksajátosságokat. Amennyiben olyan alaksajátosságokat talál az Edgecam, amiket nem kívánunk felhasználni a programozáshoz, mint jelen esetben a 6.7 ábrán jelölt 3. Hosszesztergálás vissza, azt egyszerűen törölhetjük a Del billentyű segítségével, vagy jobbklikk menüből.



6.7 ábra: Alaksajátosság keresés eredménye

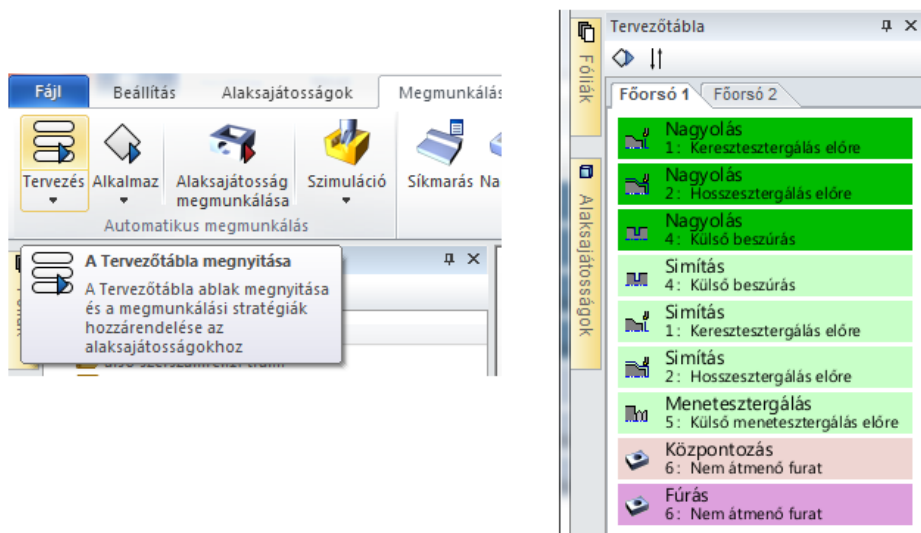
6.1.4 Megmunkálás programozása

Az alkatrész előkészítését követően elvégezhetjük a darab simítását. Az automatikus programozást két lépésben hajtjuk végre. Az első lépés a megmunkálási stratégiák

alaksajátosságokhoz rendelése és a sorrendtervezés a Tervezőtáblában, a második pedig a hozzárendelt stratégiák automatikus alkalmazása valamennyi alaksajátosságra.

6.1.4.1 Tervezőtábla

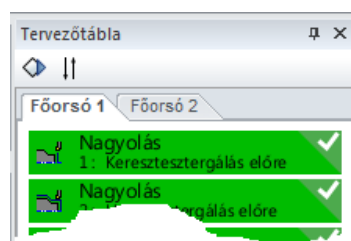
A Tervezőtábla utasítás hatására megnyílik a Tervezőtábla, és megjelenik benne a javasolt megmunkálási stratégia valamennyi alaksajátossághoz, a javasolt sorrendben (6.8 ábra).



6.8 ábra: Tervezőtábla megnyitása

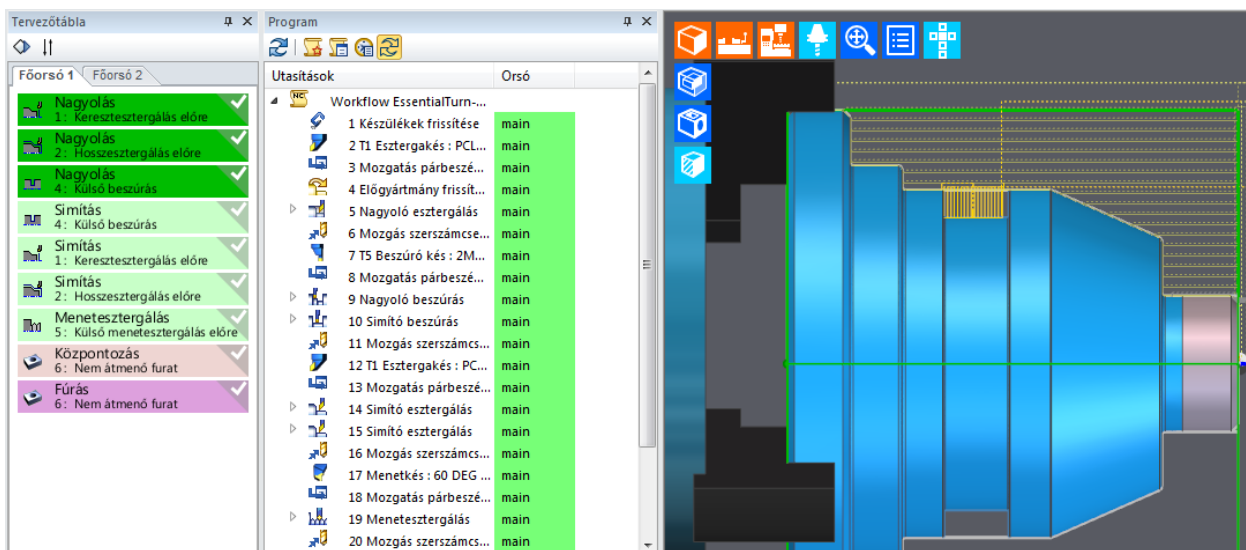
6.1.4.2 Stratégiák alkalmazása

Az Alkalmaz utasítással tudjuk valamennyi alaksajátosságra lefuttatni a hozzárendelt stratégiákat. Ezek számítása néhány percet is igénybe vehet az alkatrész bonyolultságától függően. Amint egy megmunkálás elkészül, kipipálásra kerül a tervezőtáblán (6.40 ábra).



6.9 ábra: Elkészül elemek a tervezőtáblán

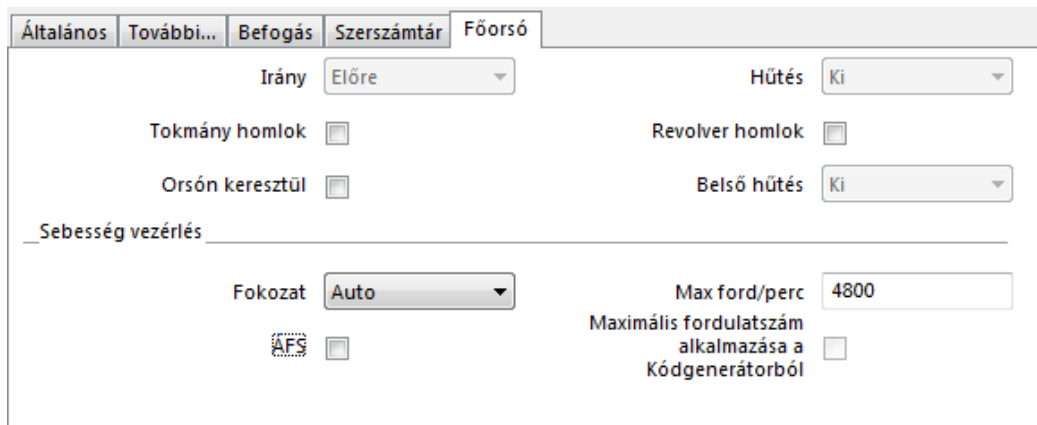
Miután a megmunkálások elkészülnek, a tervezőtáblán minden elem kipipálásra kerül, és valamennyi ciklus megjelenik a program böngészőben (6.10 ábra).



6.10 ábra: Automatikusan generált esztergáló szerszám pályák

Mivel az Edgecam az automatikusan generált szerszám pályákat is létrehozza a Program ablakban, így igény esetén ezeket még kézi úton szerkeszthetjük, hogy jobban megfeleljenek megmunkálási igényeinknek.

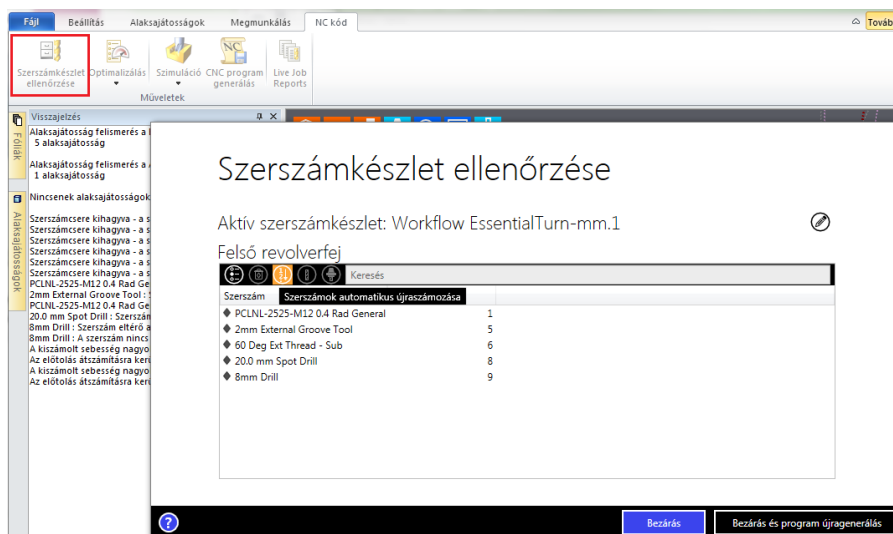
Jelen esetben például a 17. számú menetesztergáláshoz használt szerszám esetében célszerű kikapcsolni az állandó forgácsolási sebességet a szerszámdefiníciós ablak Főrső oldalán (6.11 ábra).



6.11 ábra: A menetesztergálás szerszámának módosítása

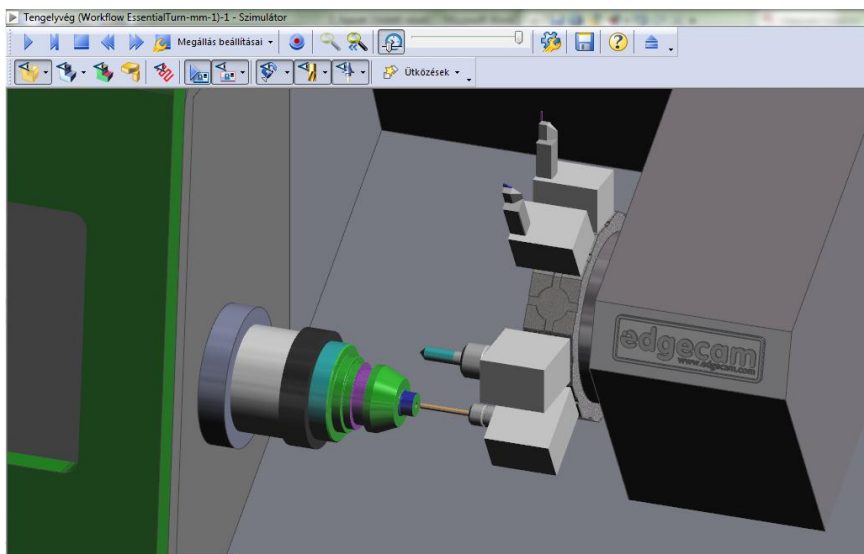
6.1.5 Szimuláció és NC program generálása

Most következik a programozás utolsó szakasza, az NC program generálás és dokumentálás, a menüszalag utolsó lapján. Itt még ellenőrizhetjük a szerszámainkat, hogy nem alkalmaztuk-e például több szerszámnál ugyanazt a tárpozíciót vagy akár optimalizálhatjuk a pályát, hogy egy szerszám ne kerüljön többször beváltásra. Automatikusan újraszámozhatjuk a szerszámkészletet, majd újragenerálhatjuk a programot az ablak bezárásakor (6.12 ábra).



6.12 ábra: Szerszámkészlet ellenőrzése

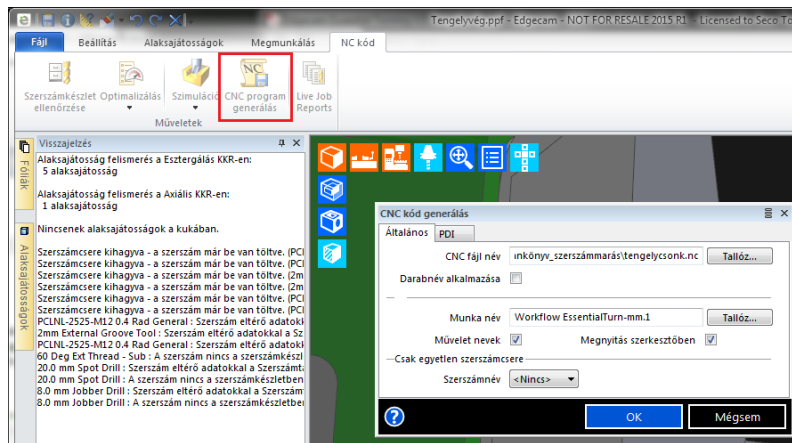
Mielőtt kigenerálnánk az NC programot, le kell futtatnunk a szimulációt (6.13 ábra).



6.13 ábra: CNC program generálás



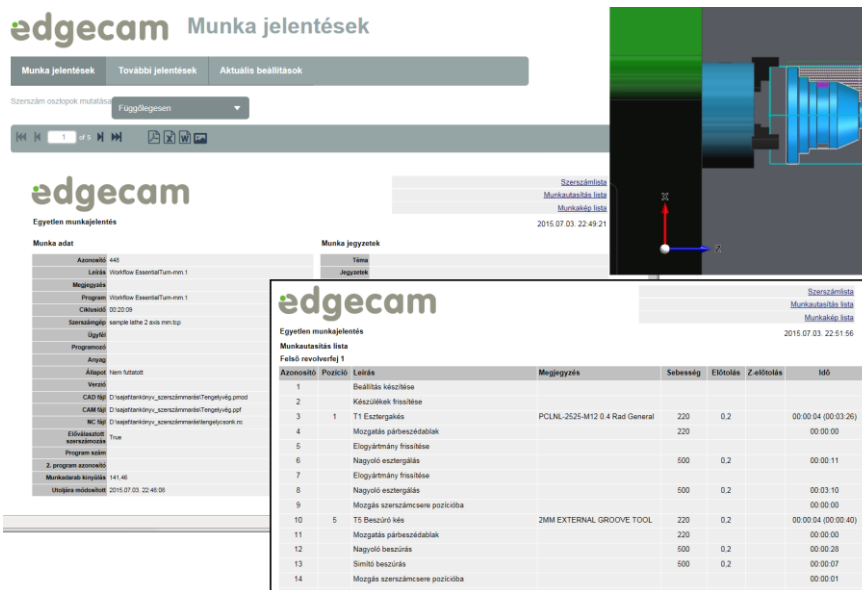
Miután a szimulációban nem találtunk semmilyen hibát, azaz véglegesnek tekinthető a szerszámháza, elkészíthetjük az NC programot a CNC program generálás utasítással. A megjelenő ablakban csak a program nevét és az elérési útvonalat kell megadnunk, majd OK-val generáltható a program (6.14 ábra).



6.14 ábra: CNC program generálás

Az NC program generálásával egyidejűleg az Edgcam automatikusan gyártási dokumentációt is készít. Ezt a dokumentációt, még képernyőmentésekkel is kiegészíthetjük a Fájllap Munkakép mentése utasításában.

Az elkészített gyártási dokumentáció a „Live Job Reports” munkajelentés utasítással tekinthető meg az alapértelmezett internet böngészőben (6.15 ábra). Az elkészült dokumentáció intraneten keresztül akár a szerszámgép mellé kihelyezett számítógépről is megtekinthető, de exportálható is PDF, Excel, Word vagy akár kép formátumba. Ezzel a lépéssel befejeztük a tengely csonk automatikus programozását.



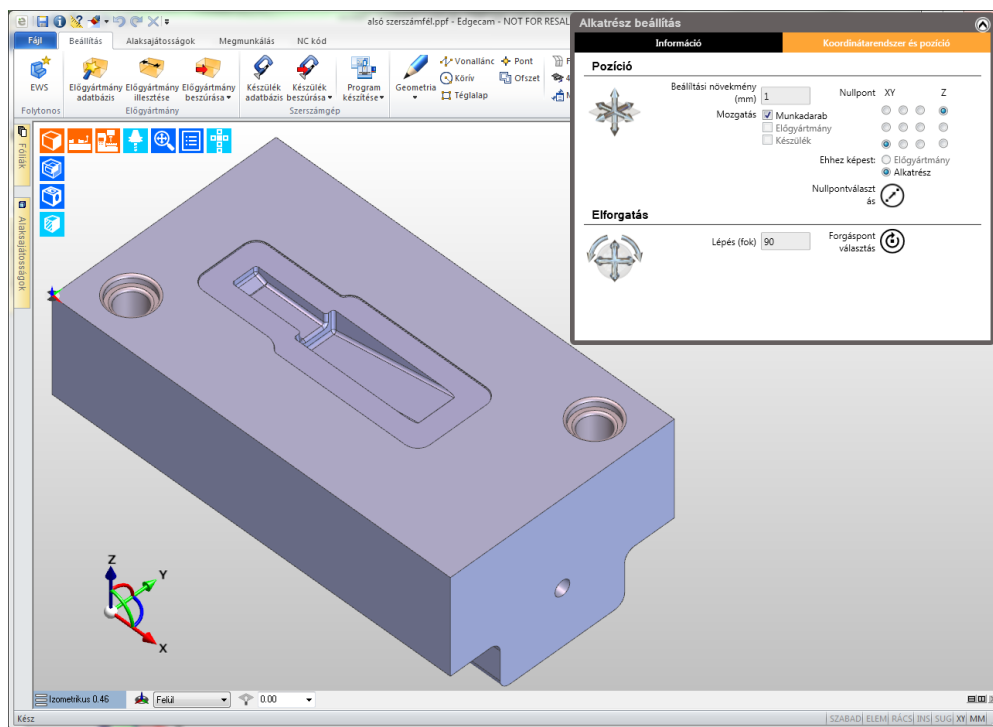
6.15 ábra: Munka jelentések

6.2 Kovácsszerszám formarészének nagyolása manuális CAM programozással

Nézzük meg egy kovácsszerszám alsó szerszámfele formarészének megmunkálását. Mivel a megmunkálendő geometriát változó dőlésszögű formafelületek alkotják, ezért ennél az alkatrésznél a hagyományos, manuális CAM programozást fogjuk használni [38-40].

6.2.1 A megmunkálendő alkatrész betöltése

Az alkatrész betöltése az előző példában bemutatottal azonosan történik. Először megnyitjuk a testmodellünket. Ekkor az Edgcam automatikusan beforgatja az alkatrészt megmunkáláshoz és beállítja az alapértelmezett nullpontot. A megmunkálendő szerszámfélnél az Edgcam a 6.16 ábrának megfelelően forgatja be az alkatrészt maráshoz, azaz a leghosszabb kiterjedését forgatja az X irányba, a legrövidebbet pedig a Z irányba.



6.16 ábra: Alkatrész beállítás az Edgcam Workflow rendszerben

Amennyiben a nullpont helyzete nem megfelelő számunkra, azt az „Alkatrész beállítása” ablakban egyszerűen módosíthatjuk a „Koordinátarendszer és pozíció” oldal Pozíció szakaszában, úgy, hogy a darab valamelyik nevezetes pontjára (alsó-, vagy felső sík – jobb alsó/felső vagy bal alsó/ felső sarok, vagy darabközép), vagy a Nullpontválasztás segítségével egy általunk kiválasztott pontba kerüljön. Amennyiben a darabelhelyezés irányát kívánjuk módosítani, azt az Elforgatás szakaszban tehetjük meg arra a nyílra kattintva, amely körül a darabot el kívánjuk forgatni a Lépés mezőben megadott szögértékkel. A darabelhelyezés megadását követően az „Alkatrész beállítása” ablak „Információ” oldalán megadhatja a munkadarab anyagát.



6.2.2 Megmunkálás beállítása

Az alkatrész betöltését követően végrehajtjuk az előgyártmány, a készülék és a szerszám gép megadását.


6.2.2.1 Előgyártmány megadása

Most is az Előgyártmány illesztése utasítást használjuk. A párbeszédablakban az alkatrész geometriájától függően automatikusan a Hasáb vagy a Henger alakú előgyártmány jelenik meg, amit igény esetén egyszerűen átállíthatunk. Az interaktív grafikus ablakban (6.17 ábra) egyszerűen beállítható a nyersdarab mérete. Jelen esetben Hasáb előgyártmányt definiálunk, és csupán az Előgyártmány magasságát állítjuk át 300mm-re. Ennek hatására mind a darab alján, mind a darab tetején 1mm ráhagyás marad. (Igény esetén a ráhagyás megosztását is módosíthatjuk, az egyik érték módosításával.)

Előgyártmány illesztése

Adja meg az előmunkált darab méreteit. Adjon meg ráhagyásokat és a végleges előgyártmány automatikusan elkészül.

Hasáb	Henger
Alkatrész hossza (800,000mm)	
Előgyártmány hossza	800,000 mm
Ráhagyás bal oldalon	0 mm
Ráhagyás jobb oldalon	0 mm
Alkatrész szélessége (450,000mm)	
Előgyártmány szélessége	450,000 mm
Ráhagyás elől	0 mm
Ráhagyás hátul	0 mm
Alkatrész magassága (298,000mm)	
Előgyártmány magassága	300 mm
Ráhagyás fent	1,000 mm
Alsó ráhagyás	1,000 mm



?

OK Mégsem

6.17 ábra: Előgyártmány illesztése

6.2.2.2 Készülék definiálása

Készülékek esetében is használható a Készülék beszúrása, amennyiben elérhető a készülék 3D-s testmodellje, vagy ha azt már az alkatrésszel együtt betöltöttük, akkor itt is a Készülék beszúrása pont lenyíló menüjéből használhatjuk a Készülék kiválasztását.

Mivel a CAM alkalmazás legjellemzőbb területein, egyedi és kissorozat-gyártásban jellemzően standardizált készülékeket (satukat, tokmányokat, lezorítókat, stb.) használunk, célszerű azokat elmentenünk az Edgcam Készülék kezelőjében, majd alkalmazni a megmunkálás és a szimuláció során.

Jelenleg az alkatrész nagy mérete miatt az Edgcam gyári készülékei nem megfelelőek, a darab megmunkálásához egyedi készülékeket kellene bemodellezni. Ugyanakkor, az



alkatrész külső mérete már kész méreten van, így itt nem végzünk megmunkálást. Ezért jelen esetben nem választunk készüléket a megmunkáláshoz.

6.2.2.3 Szerszámgép kiválasztása

A szerszámgép kiválasztását és a megmunkáló-program definiálását a Program készítése utasítással végezhetjük el. A megjelenő ablakban (6.18 ábra) az Edgcam alapértelmezésben csak azokat a gépeket mutatja, amelyek a munkatér alapján megfelelőek a darab elkészítéséhez. Szintén a darab mérete miatt, alapbeállításban itt nem látunk megfelelő gépet (esetleg inch méretmegadású gépet talál megfelelőnek a rendszer), így célszerű az „Összes szerszámgép mutatása” opciót bepipálni, és így az összes megjelenő szerszámgép közül ki tudjuk választani a „Training Mill mm.mcp” posztprocesszort, ami nem tartalmaz gépmodellt, így gond nélkül alkalmazhatjuk a nagyméretű darab megmunkálásához. A „Létező szerszámkészletek” közül választható egy korábban összeállított szerszámkészlet a megmunkáláshoz, de egy új név megadásával létrehozhatunk egy üres szerszámkészletet, amit a megmunkálás során töltünk fel szerszámokkal.

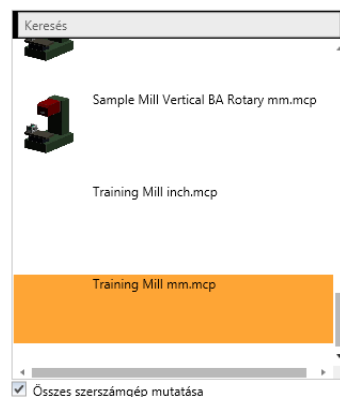
Maró program készítése



Válasszon szerszámgépet és szerszámkészletet

A kiválasztott szerszámkészlet lemásolásra kerül és ki lesz bővíve a neve .1 utótaggal.
Vagy oldja fel a kiválasztott szerszámkészlet zárolását, hogy azt használhassa.
Vagy törölje ki a szerszámkészlet nevet, ha nem kívánja használni.

Szerszámgépek



Létező szerszámkészletek



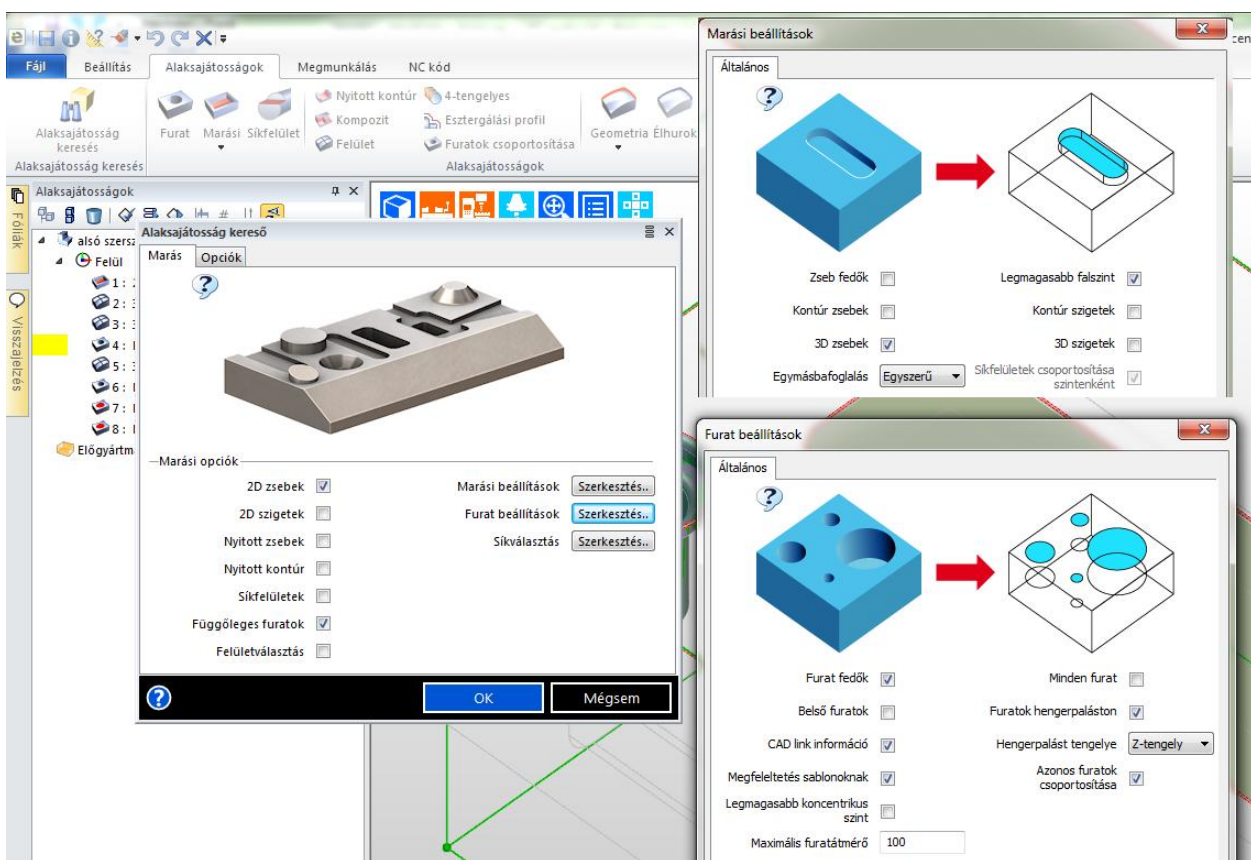
6.18 ábra: Maró program készítése

A következő oldalon nem szükséges semmit átállítani, itt lehetne módosítani a kiindulási koordinátarendszert (KKR), és gépmodell alkalmazása esetén a darabelhelyezést a szerszámgépen. Végül az utolsó oldalon összefoglalva látjuk a megmunkáló program fő paramétereit, valamint egy Biztonságos kezdőpozíció beállításával, bekapcsolhatjuk a háttérben történő programfeldolgozást, ami nagybonyolultságú daraboknál jelentősen csökkentheti a programozási időt, mivel az Edgcam ennek segítségével egyidejűleg több szálon tudja végezni a programszámítást, és számítás közben is lehetőséget nyújt az új ciklusok definiálására.



6.2.3 Alaksajátosság keresés

A következő, Alaksajátosságok lapon tudjuk a megmunkálandó, összetartozó felületcsoportokat legyűjteni, amelyeket egy műveletelemben, azaz egy ciklussal kívánunk megmunkálni. Ezeket a felületcsoportokat nevezi az Edgcam megmunkálási alaksajátosságoknak. Ezek felismertetése történhet automatikusan az Alaksajátosság kereső (6.19 ábra) segítségével, vagy manuálisan kijelölve a felhasználó által felismert alaksajátosságokat.

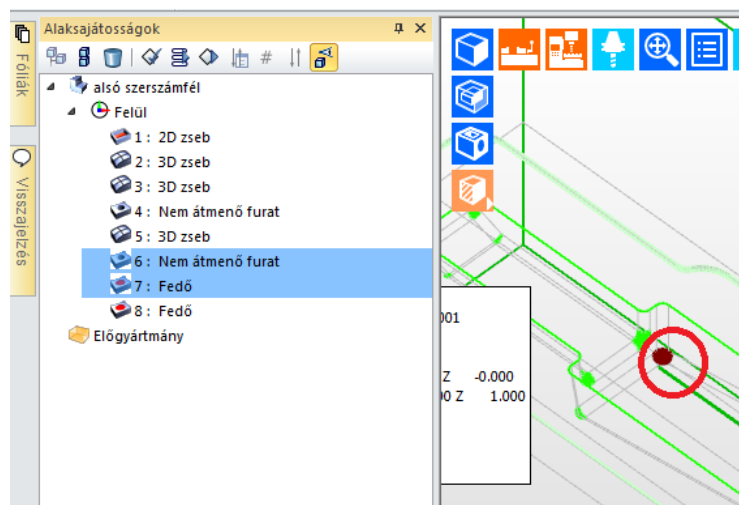


6.19 ábra: Alaksajátosság kereső

Az alaksajátosságok nem csupán összegyűjtik az összetartozó felületelemeket, de legyűjtik a modellben azokhoz eltárolt információkat is, így a mélységeket, minimális/maximális sugarakat, vagy furatoknál a süllyesztési vagy menetinformációkat. Ezek az információk teszik lehetővé az alkatrész automatikus megmunkálását, de jelentős segítséget nyújtanak a manuális megmunkáláshoz is.

Formafelületek megmunkálásához jellemzően csak felület alaksajátosságot tudunk létrehozni, de az Edgcam arra is lehetőséget nyújt, hogy a testmodellről közvetlenül válasszunk ki felületeket.

Mivel jelenleg egy egyszerű szerszámot munkálunk meg, itt jó eredményt érünk el az Alaksajátosság kereső segítségével is, mivel mind a vezetőoszlop furatait, mind pedig a csészegeometriát és a sorjacsatornát fel tudja ismerni a rendszer. Ehhez az Alaksajátosság keresőbe a 6.19 ábrának megfelelően be kell kapcsolni a 2D zseb és a Függőleges furatok keresése opciókat, majd a Marási beállításokban be kell kapcsolni a 3D zseb keresését, és a Furat beállításokban a Maximális furatátmérőt meg kell növelni, annak érdekében, hogy a nagyméretű furatokat a rendszer ne hengeres zsebként kezelje. Itt célszerű a Furat fedők opciót is aktiválni, mivel ennek hatására az Edgecam egy felületet hoz létre a furatok felső síkján, ami segítséget nyújt, annak elkerülésében, hogy a nagyoló maró szerszám pályák a fúrással elkészítendő furatokba is besülyedjenek. Az Alaksajátosság keresőt bezárva a rendszer megkeresi az alaksajátosságokat. Amennyiben olyan alaksajátosságokat talál az Edgecam, amiket nem kíván felhasználni a programozáshoz, mint jelen esetben a 6.20 ábrán jelölt 6. és 7. alaksajátosság, azt egyszerűen törölhetjük a Del billentyű segítségével. Az oszlopfuratokon felismert Furat és 3D zseb alaksajátosságokat célszerű megtartanunk, mivel így az előfúrt furatokat, egyszerűen fel tudjuk marni (bár furat alaksajátosságokon is lehet marási műveleteket is végezni).



6.20 ábra: Alaksajátosság keresés eredménye

6.2.4 Megmunkálás programozása

Gyakorlatilag, a korábbi lépésekben az alkatrész előkészítését végeztük, most érkeztünk csak el a tényleges megmunkáláshoz, amit a következő, Megmunkálás lapon tudunk elvégezni. Az alkatrész megmunkálása valamennyi ráhagyással rendelkező felület nagyolásából és simításából áll. A nagyolási és simítási műveletek történhetnek egy vagy több megmunkáló programban, attól függően, hogy a műveletek között, szükség van-e az alkatrész hőkezelésére vagy pihentetésére. Szerszámkészítésnél jellemzően először technológiai ráhagyással nagyoljuk és elősimítjuk az alkatrészt, majd a hőkezelést követően végezzük el a simító megmunkálásokat. Ennek megfelelően először csak az alkatrész nagyolását és elősimítását végezzük el a következő lépésekben:



1. Síkmarás ráhagyással
2. Formaüreg nagyolása ráhagyással
3. Formaüreg elősimítása ráhagyással
4. Furatok előfúrása
5. Furatok elősimítása ráhagyással

A megmunkálás programozását végezhetjük műveletekkel, amelyek kezdő felhasználók számára nyújtanak gyors és egyszerű programozási lehetőséget korlátozott paramétermódosítással, vagy ciklusokkal, amelyek teljes körű beállítási lehetőséget nyújtanak. A következő programozási lépésekben mindkét megoldást alkalmazni fogjuk.

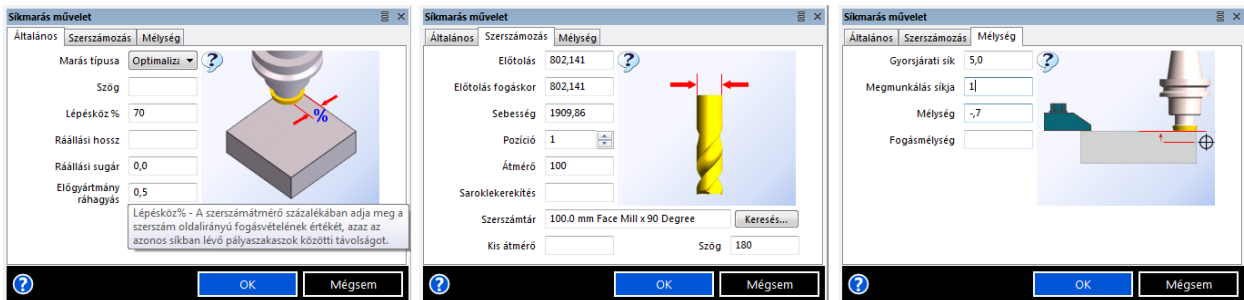
6.2.4.1 Síkmarás

Első lépésként a munkadarab felső síkját munkáljuk meg Síkmarással, annak érdekében, hogy a következő megmunkálásokhoz biztosítsuk az egyenletes bázisfelületet, kiküszöbölve az előgyártmány, vagy a nullpontbemérés esetleges pontatlanságából adódó hibalehetőségeket. Mivel ez egy egyszerű megmunkálás, így műveletből is teljes körűen programozható, így a Marási műveletek panel Síkmarás utasítását fogjuk alkalmazni.

Amint kiválasztottuk az utasítást, zárt profilokat kell megadnunk a megmunkáláshoz. Mivel a teljes előgyártmány tetejét kívánjuk megmunkálni, ezért a hasáb alakú előgyártmány felső profilját kell megadnunk, ami négy egyenesből áll. Ezt megtehetjük az egyenesek láncolásával, egyszerűen duplán kattintva bármelyik egyenesre, majd jobb egérgattintással hagyhatjuk jóvá a kiválasztást és léphetünk be a Síkmarás művelet párbeszédablakba.

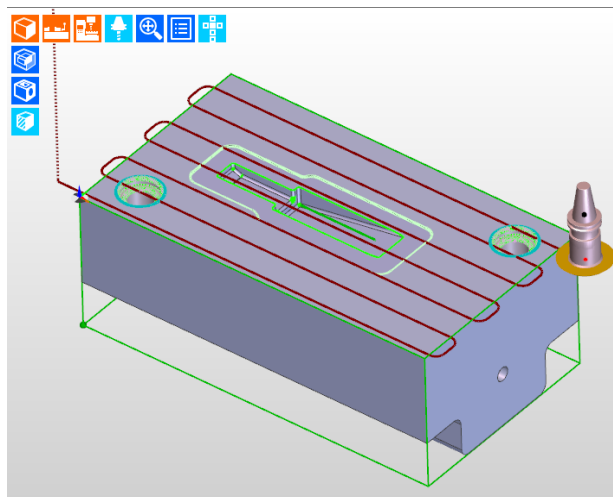
Itt három oldalon tudjuk a művelet paramétereit beállítani, egy interaktív párbeszédablakban (6.21 ábra), ami bármely mezőre kattintva, megjelenít egy, a paramétert magyarázó ábrát, és ha az egérmutatót az ábra fölé mozgatjuk, szövegesen is magyarázza a paraméter értelmezését. Az Általános oldalon a Marás Típusát állítsuk optimalizáltra, hogy a szerszám oda-vissza dolgozzon és adjuk meg az oldalirányú fogás értékét a szerszámátmérő százalékos értékében (Lépésköz %). A szög és a Ráállási hossz mezőket hagyjuk üresen, így azokat a rendszer a darab méretei és a szerszámátmérő alapján optimalizálja. A szerszámozás oldalon a Keresés gombbal választhatunk egy nagy átmérőjű síkmarót a szerszám tárból, majd a pozíció mezőbe kell megadnunk, hogy a szerszám a szerszámgépen melyik tárhelyre lesz befogva.

A Mélység oldalon a nullponthoz képest kell megadnunk a megmunkálási síkokat. A Megmunkálási síkja jelen esetben 1mm, mivel ennyi kiindulási ráhagyás volt az előgyártmányon, a Mélységre pedig 0,7mm-t állítunk, hogy 0,3mm ráhagyás maradjon a síkon a megmunkálást követően.



6.21 ábra: Síkmarás művelet beállításai

Az elkészült szerszámpálya a 6.22 ábrán látható.



6.22 ábra: Síkmaró szerszámpálya

6.2.4.2 Formaüreg nagyolása

Következő lépésként a formaüreg nagyolását végezzük el. Ehhez először is meg kell határozni, hogy milyen szerszámot célszerű használni. Ebben az Intellisnap funkció lehet segítségünkre, amellyel az egérmutatót egy elem fölé mozgatva, a rendszer egyből megjeleníti az elem adatait. A funkció bekapcsolásához az egér jobb gombjával kell kattintani a grafikus felületen, és aktiválni kell az Intellisnap opciót. Ha a funkció csak korlátozottan jeleníti meg az elemadatokat (elemtípus, sorszám és fólia), akkor a billentyűzet V billentyűjét leütve tudjuk bekapcsolni a teljes adatmegjelenítést.

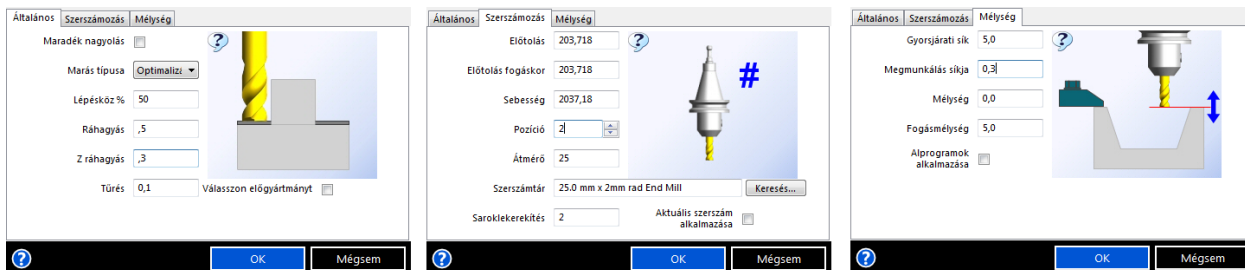
Az elemadatok lekérésére alternatívaként használhatjuk a Gyorselérési eszköztárról az Ellenőrzés, illetve távolságok meghatározására a Mérés utasítást. A fenti lehetőségek alkalmazásával megállapíthatjuk, hogy a formaüreg legkisebb belső rádiusz 5mm-es, míg a formacsatorna alsó lekerekítése 1mm-es, a formaüreg szélessége, pedig a nyélrésznél 130mm. Ezért célszerű a geometrián egy nagyobb szerszámmal nagyolást, majd kisebb szerszámmal maradéknagyolást végezni. Az egyszerűség kedvéért kezdjük a megmunkálást a Nagyolás művelettel.



Amint kiválasztottuk az utasítást, meg kell adnunk a geometriát a megmunkáláshoz. A nagyolást célszerű az egész geometriára egyben elvégezni, ezért válasszuk ki a testet, valamint a furatok tetején létrehozott fedőket, annak érdekében, hogy ott ne akarjon dolgozni a nagyoló szerszám. (A fedők kiválasztását segítheti, ha bekapcsoljuk az Alaksajátosságok megjelenítését a grafikus képernyő bal felső sarkában található ikonnal, vagy a geometria kiválasztást az Alaksajátosságok ablakban is elvégezhetjük.) A kiválasztást jobb egérgattintással hagyhatjuk jóvá. Ezt követően megadhatunk befoglaló határt, amire most nincs szükségünk, így újabb jobb egérgattintással beléphetünk a Nagyolás művelet párbeszédablakba.

A síkmaráshoz hasonlóan, itt is három oldalon tudjuk a művelet paramétereit beállítani (6.23 ábra). Az Általános oldalon a Marás Típusát állítsuk optimalizáltra, adjunk meg 50%-ot a Lépcsőköz % értékére, 0,5-et a Ráhagyásra, 0,3-et a Z-ráhagyásra és a tűrést állítsuk 0,1-re. A szerszámozás oldalon a Keresés gombbal válasszunk ki egy D25R2 rádiuszos marót a szerszámtárból, majd a pozíció mezőbe adjuk meg, hogy a szerszám a szerszámgépen melyik tárhelyre lesz befogva.

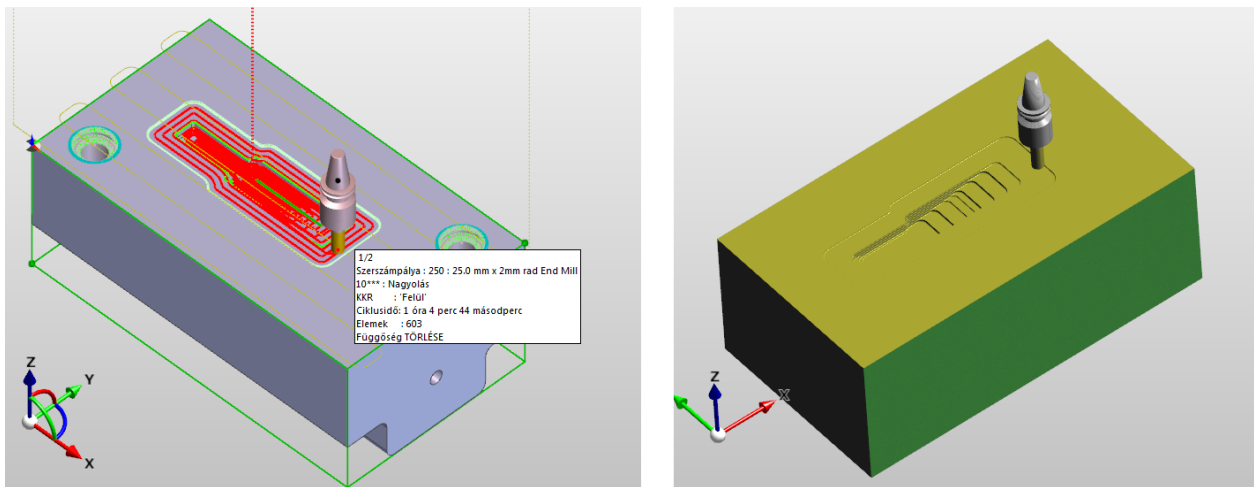
Mivel most a testmodellt választottuk ki megmunkáláshoz, így a Mélység oldalon annak alsó- és felső síkjához képest kell megadnunk a megmunkálási síkokat. A Megmunkálási síkja jelen esetben 0,7mm, mivel ekkora ráhagyást alkalmazunk a felső síkon, a Mélységet pedig 0mm-en hagyjuk, hogy szükség esetén a darab aljáig tudjon dolgozni a szerszám. Továbbá be kell állítanunk a fogásmélységet a szerszám és a munkadarab anyagának figyelembevételével.



6.23 ábra: Nagyolás művelet beállításai

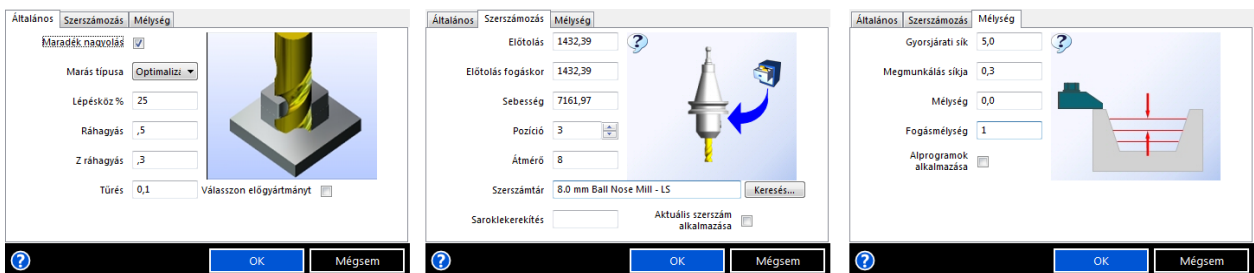
Ha a Szimuláció utasítással meghívjuk az Edgecam Szimulátort, és a Kezdés gombbal lefuttatjuk szimulációt, láthatjuk, hogy a nagy fogásmélység miatt egyes felületeken durva lépcsők maradnak (6.24 ábra), amelyek még nem megfelelőek a simításhoz.

Mivel a belső rádiuszok is kisebbek a nagyoló szerszámunk sugaránál, így ez a ciklus megfelelő, a következő maradéknagyolás csökkenteni fogja a nagyolt felület lépcsőzetességét.



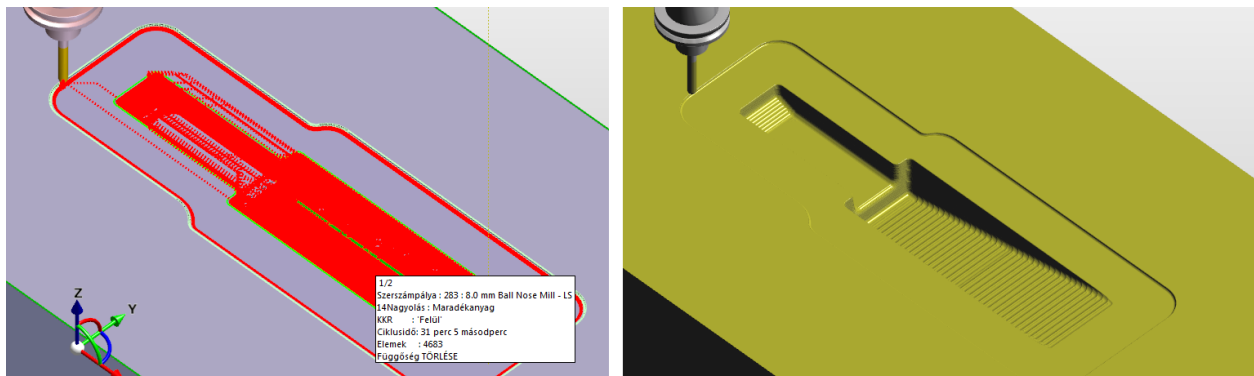
6.24 ábra: Nagyoló szerszám és a szimuláció eredménye

A formaüreg maradéknagyolását akár több lépcsőben is lehet végezni folyamatosan csökkenő szerszámmérettel, de most az egyszerűség kedvéért egy, a formaüreg legkisebb rádiuszánál kisebb gömbmaróval készítünk egy maradéknagyoló pályát. Ezt szintén a Nagyolás művelettel készíthetjük el az előző geometriára, mindössze az Általános oldalon kell bepipálni a Maradék nagyolás opciót, a Szerszámzás oldalon kiválasztani egy D8 gömbmarót és megadni annak pozícióját, végül a Mélység oldalon megadni a szerszámhoz megfelelő fogásmélységet (6.25 ábra).



6.25 ábra: Maradéknagyolás beállításai

A generált szerszám pályán (6.26 ábra) jól látszik, hogy csak ott készült pálya, ahol az előző nagyolás anyagot hagyott, viszont ott a pálya az előzőnél sokkal sűrűbb a kisebb Fogásmélység és Lépésköz% miatt. Ha a lefuttatjuk szimulációt, láthatjuk, hogy a korábbinál sokkal egyenletesebb ráhagyást kaptunk, ami már megfelelő elősimításhoz, vagy technológiától függően simításhoz is.



6.26 ábra: Maradéknagyoló szerszám pálya és a szimuláció eredménye

6.2.4.3 Formaüreg elősimítása

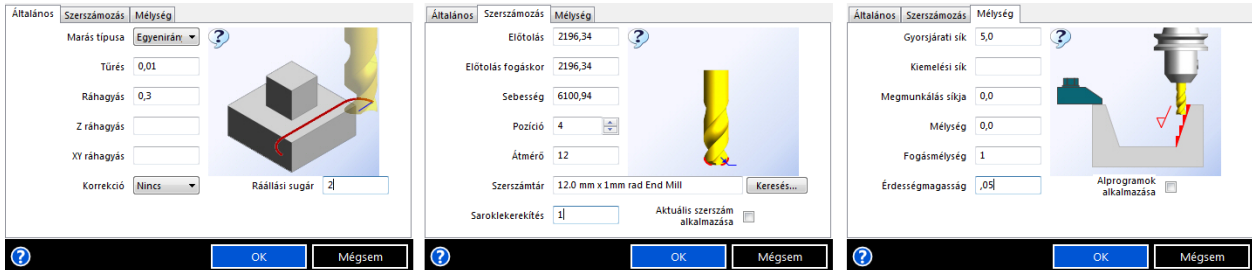
Amennyiben még egyenletesebbé kívánjuk tenni a felületen a ráhagyást nagyolás után, akkor valamilyen simító ciklussal kell elősimítás végezni. Az Edgcam számos felületsimító ciklust tartalmaz, 3D profilozást, Párhuzamosan láncolt pályát, Vetített szerszám pályákat, Felületkövető és Állandó érdességmagasságú pályát, valamint maradékanyag simításhoz Maradékanyag profilozást, Belső él marást és Állandó érdességmagasságú maradékanyag simítást. Az adott geometria esetében a Profilozás és az Állandó érdességmagasságú szerszám pályát alkalmazhatjuk. Eldönthetjük, hogy a legkisebb sugárnak megfelelő gömbmarót használunk a teljes megmunkáláshoz, vagy előbb egy nagyobb gömbmaróval végzünk simítást, majd kisebb gömbmaróval maradékanyag simítunk. Jelenleg az első megoldással, egy D8 gömbmaróval végzünk elősimítást a formaüregre, és egy D12R1 maróval a sorjacsatornára.

A sorjacsatorna esetében a simításra alkalmazhatunk műveletet. Ehhez válasszuk a Profilozás műveletet a Marási műveletek panelen!

Amint kiválasztottuk az utasítást, ki kell választanunk a profilokat a megmunkáláshoz. Válasszuk ki a sorjacsatornát megadó 2D zsebet. (A kiválasztást segítheti, ha bekapcsoljuk az Alaksajátosságok megjelenítését a grafikus képernyő bal felső sarkában található ikonnal, vagy, ha a kiválasztást az Alaksajátosságok ablakban végezzük.) A kiválasztást jobb egérgérintéssel hagyhatjuk jóvá. Ezt követően megadhatunk befoglaló határt, amire most nincs szükségünk, így újabb jobb egérgérintéssel beléphetünk a Profilozás művelet párbeszédablakba.

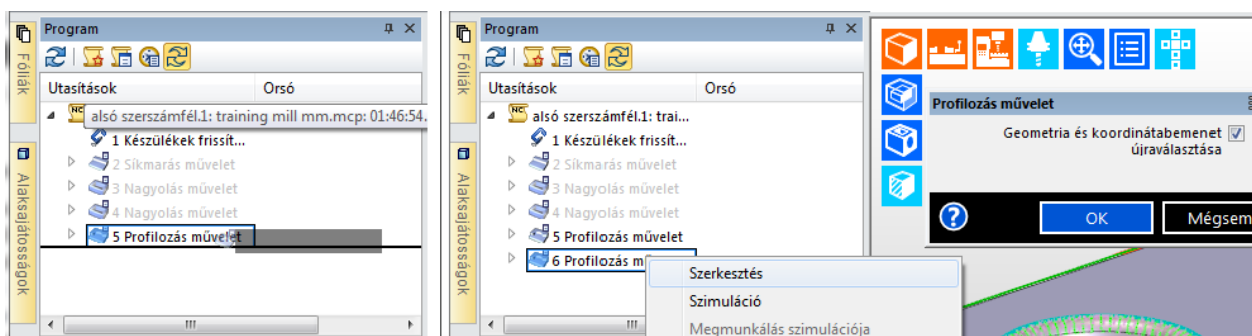
A többi művelethez hasonlóan, itt is három oldalon tudjuk a művelet paramétereit beállítani. Az Általános oldalon a Marás Típusát állítsuk egyenirányúra, állítsuk a Tűrést 0,01-ra, a Ráhagyást 0,5-re, és a Ráállási sugarat 2mm-re. A Szerszámoldalon a Keresés gombbal válasszuk ki egy D12R1 rádiuszos marót a szerszám tárból, és adjuk meg a pozíciót.

Végül a Mélység oldalon megkaphatjuk a fogásmélységet, ami a kis oldalirányú fogásvétel miatt nagyobb érték is lehet, és célszerű megadnunk egy Érdességmagasságot, ami biztosítja az egyenletes felületminőséget, a Mélység paramétereket nem kell módosítanunk (6.27 ábra). Ha OK-val jóváhagyjuk a beállításokat, a ciklus elkészül a sorjacsatorna elősimításához.



6.27 ábra: Profilozás művelet beállításai

A formaüreg esetében a művelet nem nyújt elég beállítást ahhoz, hogy kellő minőségben megmunkáljuk a felületet. Ennek ellenére terveztünk műveletet, amit később ciklus szinten tudunk szerkeszteni. Ehhez kiválaszthatjuk újra a Profilozás műveletet, vagy az előző műveletet lemásolhatjuk. Ezt egyszerű Windows technikával tehetjük meg, úgy, hogy a Program párbeszédablakban, a létrehozott Profilozás műveleten lenyomjuk az egér bal gombját, és a CTRL billentyű lenyomva tartása mellett lemozgatjuk azt a lista végére (ahol egy fekete vonal megjelenik, jelezve a beszúrás helyét). A bal egérgomb elengedését követően a Program ablakban létrejön az új Profilozás művelet.



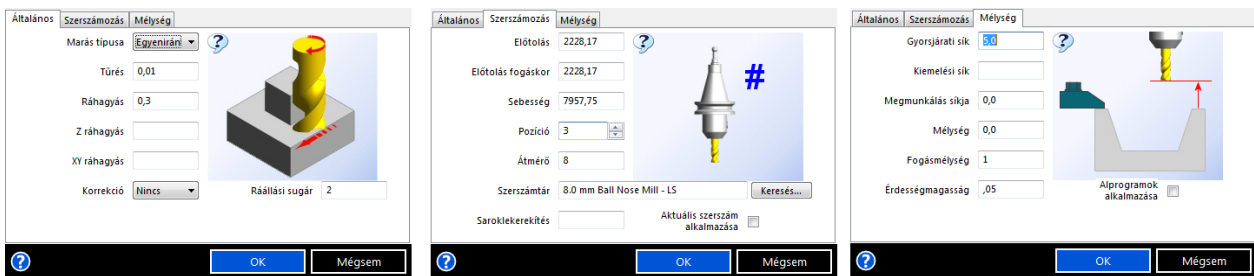
6.28 ábra: Profilozás művelet másolása és szerkesztése

A létrehozott műveletet egyszerűen szerkeszthetjük, ha duplán kattintunk rá az egér balgombjával, vagy az egér jobb gombjával rákattintva a Szerkesztés pontot választjuk a megjelenő menüből. Ezt követően be kell pipálni a Geometriai bemenet újra megadását (6.28 ábra), és a rendszer újra kéri a profilmegadást a megmunkáláshoz. Válasszuk ki a formaüregreget megadó 3D zsebet. Hagyjuk jóvá a kiválasztást jobb egérrá kattintással, majd újabb jobb egérrá kattintással kihagyhatjuk a befoglaló határ megadását és beléphetünk a Profilozás művelet párbeszédablakba.

Az Általános oldalon nem kell semmit módosítanunk, csak a Szerszámozás oldalon kell kiválasszunk egy D8 gömbmarót a szerszámtárból, és megadnunk a pozíciót. A szerszám megadását követően a Mélység oldalon lehet csökkenteni a Fogásmélységet, de a Mélység paramétereiket nem kell módosítanunk (6.29 ábra).

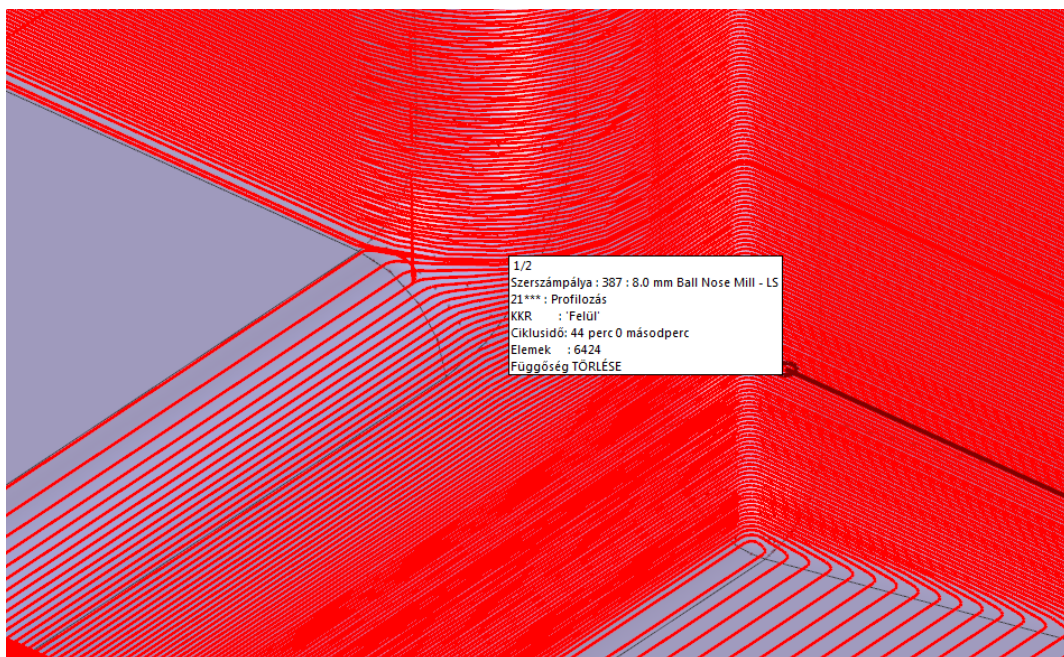


(Ha ugyanazt a gömbmarót kívánjuk használni, amivel a maradéknagyolást is végeztük, akkor ugyanazt a pozíciót kell megadnunk, és a szerszámcsere számának csökkentése érdekében, az ablak bezárását követően a korábban bemutatott Windows technológiával, a CTRL billentyű lenyomása nélkül a műveletet felmozgathatjuk a korábbi Profilozás fölé, hogy közvetlenül a Maradéknagyolást kövesse, ami ugyanazt a szerszámot használta.)



6.29 ábra: Profilozás művelet beállításai

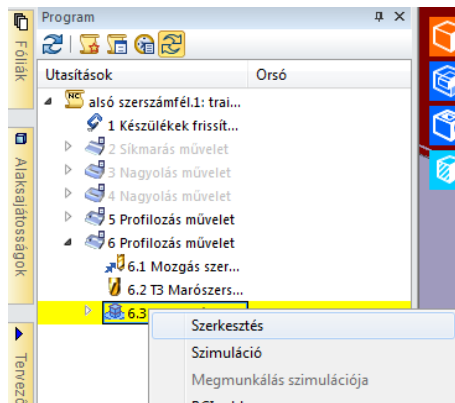
A pálya generálása után már a Szimuláció lefuttatása nélkül is látjuk, hogy a vízszintes, vagy ahhoz közelítő, sekély területeken a Profilozás nem készíti szerszám pályáját (6.30 ábra). Ezekre a területekre szükség esetén készíthetünk egy másik megmunkáló ciklust, vagy ciklus szinten tudjuk módosítani a profilozást a területek megmunkálásához. (jelen esetben ez nem szükséges, ha a Nagyolásnál a Z-irányú ráhagyást eleve 0,3mm-re állítottuk, amit az elősimításhoz is használunk.)



6.30 ábra: Formaüreg profilozó művelet eredménye

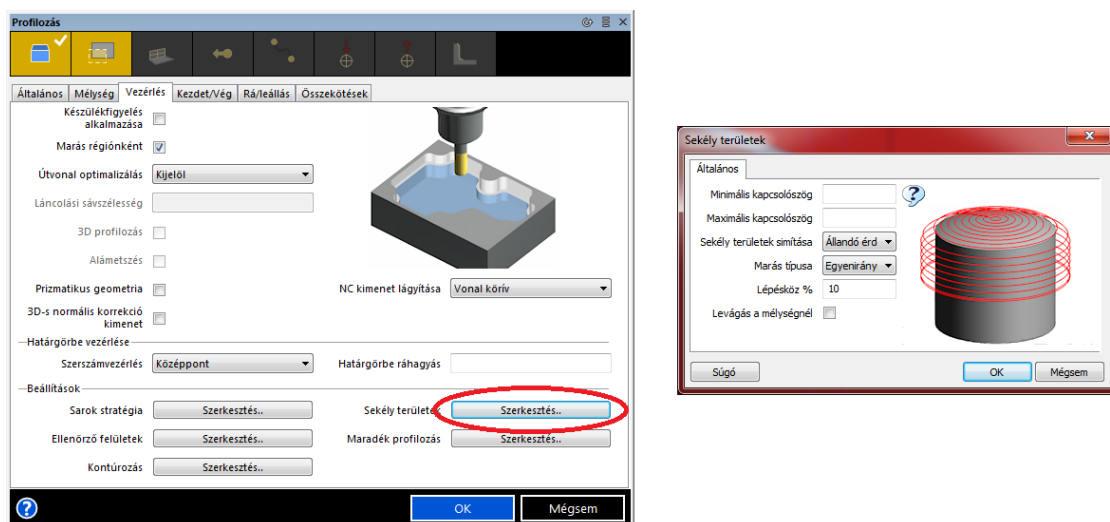


A ciklus szinten történő szerkesztéséhez, a program ablakban le kell nyitnunk a szerkeszteni kívánt Profilozás műveletet, duplán rákattintva, vagy a jobbklikk menüből (6.31 ábra). (A ciklust úgy is szerkeszthetjük, ha duplán kattintunk a szerszámpályára a grafikus képernyőn.)



6.31 ábra: Profilozás ciklus szerkesztése

A megnyíló Profilozás ciklus párbeszédablakban láthatóan több paraméterrel tudjuk finomítani a generált szerszámpályát. Az általunk szerkeszteni kívánt paramétereket a Vezérlés oldalon érjük el, a Beállítások szakasz Sekély területek pontja alatt. Itt a Szerkesztés gombra kattintva érhetjük el a Sekély területek párbeszédablakot, ahol a sekély területek simítására kiválaszthatunk számos stratégiát (6.32 ábra). Ezekből most az állandó érdességmagasságú pályát célszerű választani, 10%-os Lépésközzel.



6.32 ábra: Profilozás ciklusban módosítandó paraméterek

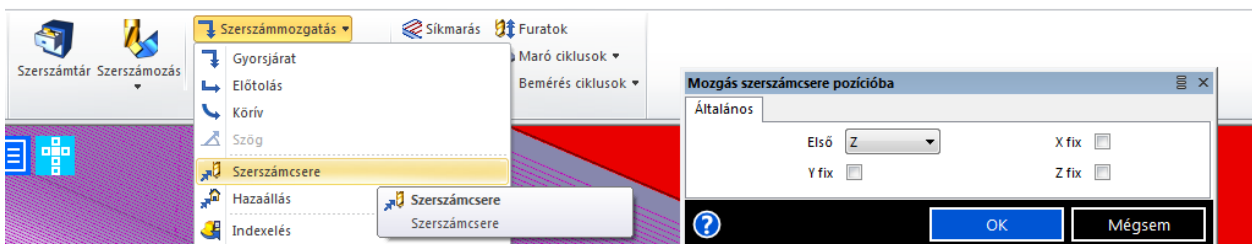


A párbeszédablak jóváhagyása és bezárása után, elkészült a szerszám pályán jól látható, hogy a rendszer a módosított paraméterekkel már a sekély területeken is készíti a szerszám pályát.

(A művelet ciklusszintű szerkesztése hatására a művelet definíció felbomlik, és ezt követően már az azt alkotó ciklusokat (Mozgás szerszámcsere pozícióba, Marószerszám megadása, Profilozás) csak külön-külön tudjuk szerkeszteni.)

Alternatívaként a formaüreg megmunkálására használhatunk Simítást állandó érdeségmagassággal ciklust. A ciklus előnye, hogy a profilozással ellentétben a fogásvételt nem Z-irányban, hanem a felület mentén értelmezi, így állandó minőséget biztosít sekély és meredekebb felületeken is. Mivel ez a szerszám pályája nem érhető el műveletből, ezért a definiálását is ciklusként végezzük.

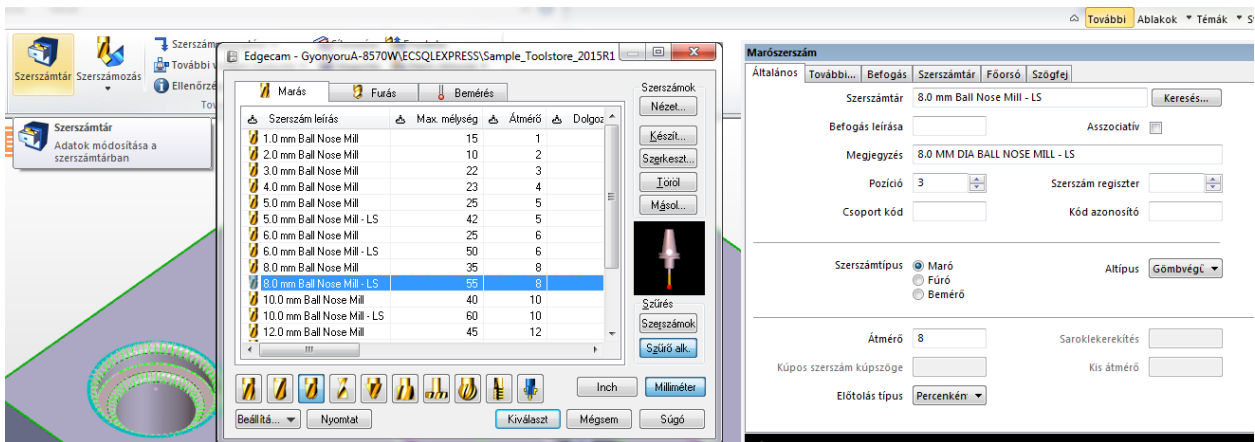
Ennek első lépése, hogy a szerszámot elküldjük szerszámcsere pozícióba. Ezt a További maró ciklusok panel Szerszámmozgatás utasításcsoportjából kiválasztható Szerszámcsere utasítással végezhetjük el, a beállításokat alapértéken hagyva (6.16 ábra). (Ha az Edgecam alapbeállításai között aktiválva van, akkor a rendszer automatikusan beszúrja az utasítást minden szerszámcsere elé, így a felhasználónak nem kell ezt programoznia.)



6.33 ábra: Mozgás szerszámcsere pozícióba

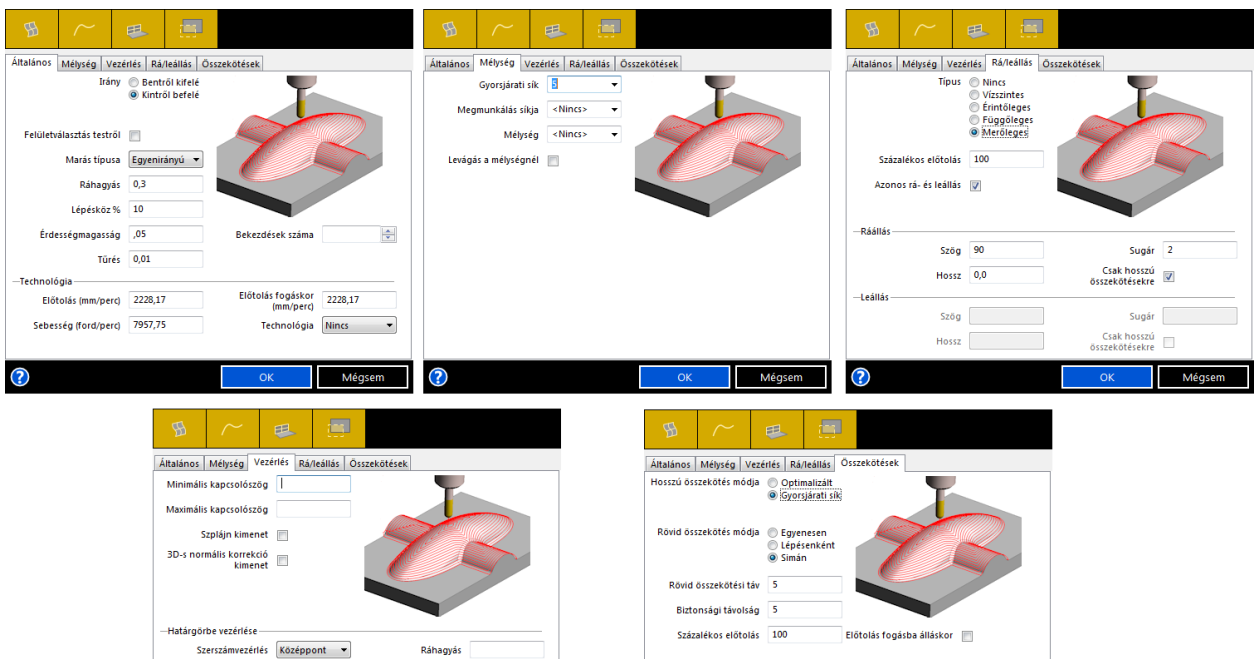
Szerszámcsere pontba mozgatás után, választanunk kell egy szerszámot. Ezt legegyszerűbben a Szerszámtár pontban tehetjük meg. Válasszuk itt ki a korábbi D8 gömbmarót, majd a megjelenő Marószerszám párbeszédablakban adhatjuk meg a pozíciót (6.34 ábra).

A szerszám kiválasztását követően tudjuk elkészíteni a megmunkáló ciklust. Ezt a További maró ciklusok panel Maróciklusok utasításcsoportjából kiválasztható Simítás állandó érdeségmagassággal utasítással végezhetjük el.



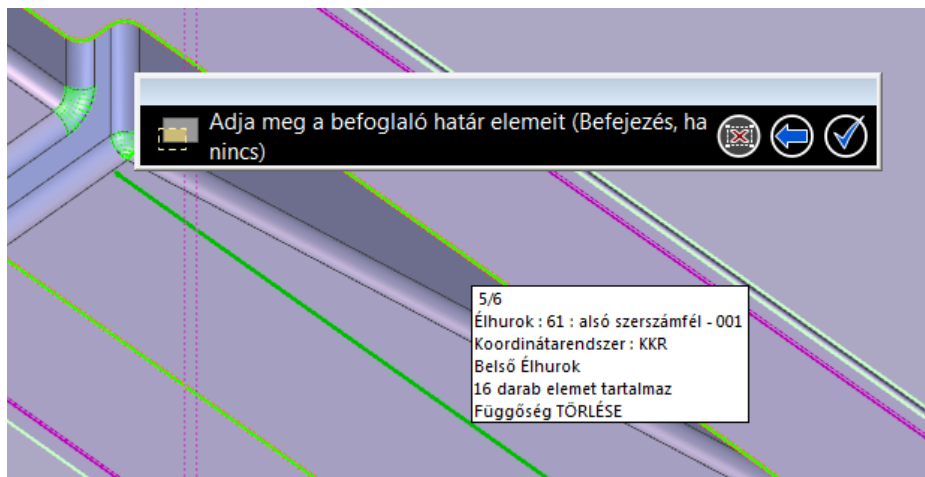
6.34 ábra: Szerszámválasztás

A megjelenő ablak Általános oldalán meg kell adnunk a Lépésköz% és az Érdességmagasság értékét (a kettő közül a szigorúbb fog érvényesülni), míg a Ráhagyás az előző ciklusból öröklődik. A Mélység oldalon a Megmunkálás síkját és a Mélységet is <Nincs>-re kell állítani, hogy azt ne korlátozza le a rendszer. A Vezérlés oldalon nem kell semmit módosítanunk. A Rá/leállítás oldalon célszerű a Ráállási mozgásokat Csak hosszú összekötésekre engedélyezni, és az Összekötések oldalon a rövid összekötések módját Simára állítani, hogy a pálya a felület mentén, minél lágyabban álljon át (6.35 ábra).



6.35 ábra: Simítás állandó érdességmagassággal pálya beállításai

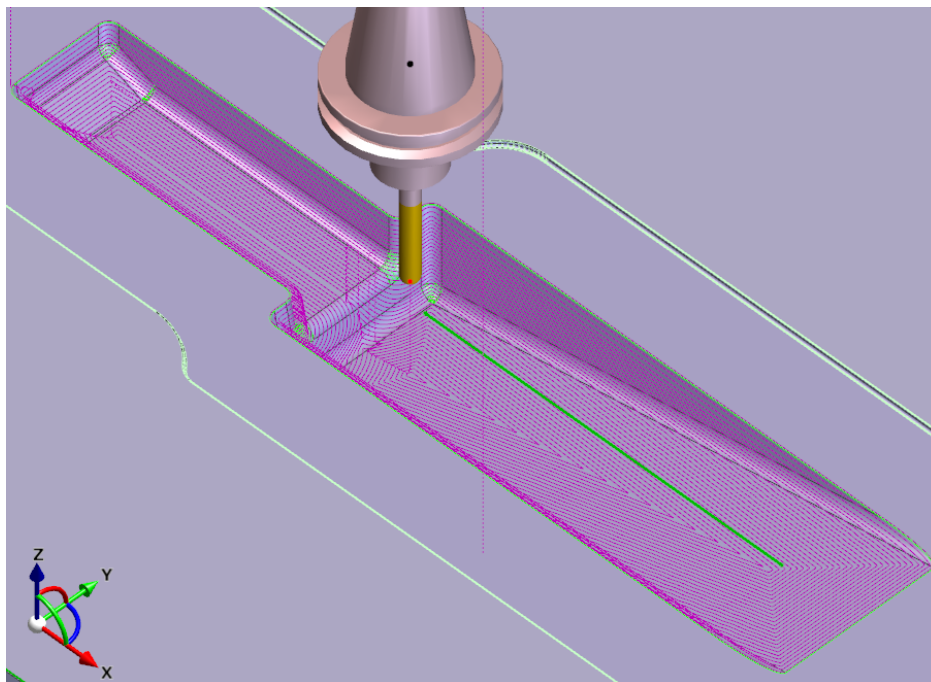
OK-val hagyjuk jóvá a beállításokat. Ennek hatására az Edgcam kéri, hogy válasszunk megmunkálendő felületeket. Válasszuk ki a 3D zsebet, majd jobb klikk. Ezt követően meg kell adnunk egy határgörbét is, mivel ez a pályatípus egy felületmaró ciklus, ami nem figyeli a felületi normálisokat, így a zsebfalon kívül is dolgozna. Befoglaló határként a zseb külső kontúrját kell megadnunk. Ezt a legegyszerűbben úgy tehetjük meg, hogy az egérmutatót a kontúr egyik eleme fölé mozdítjuk, aminek hatására megjelenik a kurzor mellett egy Tabulátor jel, ami jelzi, hogy több elem van egymás mögött takarásban, amelyek között a Tabulátor billentyű leütésével tudunk váltani. Üssük le többször a Tabulátor billentyűt, addig, míg az Intellisnap szövegmező azt jelzi, hogy az élhurkot fogtuk meg, majd az egér bal gombjával kattintva válasszuk ki az élhurkot a 6.36 ábrának megfelelően.



6.36 ábra: Befoglaló határ kiválasztása

A kiválasztást jobbklikkel hagyhatjuk jóvá. Mivel a szerszámpálya megmunkálási irányát meghatározó vezérgörbe megegyezik a határgörbével, így újabb jobbklikkel továbbléphetünk, amikor a rendszer a vezérgörbe magadását kéri.

Ennek hatására elkészül a szerszámpálya, amin jól látható, hogy ez a stratégia sokkal egyenletesebb pályát biztosít, mint a Profilozás, viszont helyenként függőlegeshez közeli pályaszakaszokat is tartalmaz, amelyeknél nem optimálisak a forgácsolási körülmények (6.37 ábra). Mindamelllett az a megmunkálási stratégia nyújtja a legjobb megoldást az ilyen jellegű alkatrészek megmunkálására.



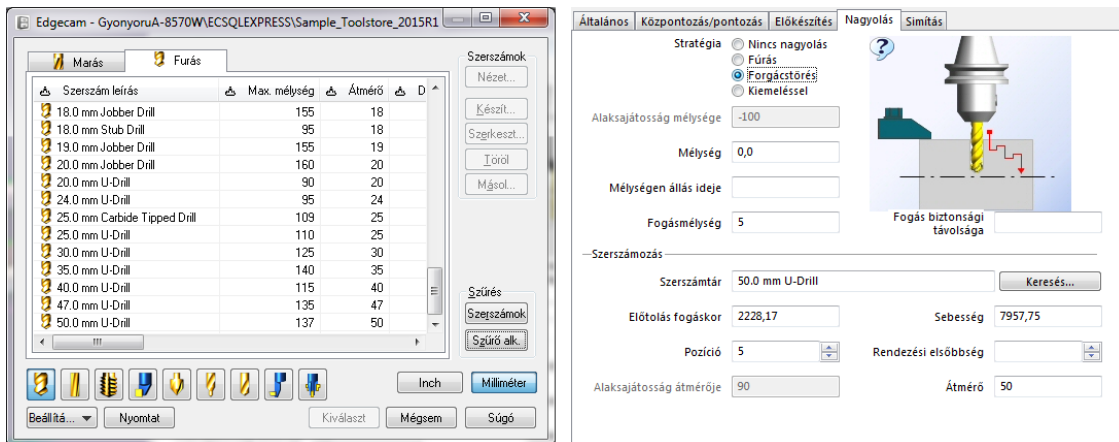
6.37 ábra: Simítás állandó érdességmagassággal

Ezzel elkészültünk a formaüreg elősimításával, következhet az oszlopfuratok megmunkálása. Itt is dolgozhatnánk az előző lépésekkel, úgy, hogy a furatok nagyoló ciklussal munkáljuk meg, spirális anyagba merüléssel, majd elősimítjuk azokat, de gazdaságosabb lehet, ha először előfúrjuk a furatokat, majd felbővítjük azokat profilozással.

6.2.4.4 Furatok előfúrása

Az előfúráshoz válasszuk a Furatok utasítást a Marási műveletek panelen. A Válasszon pontokat üzenet megjelenésekor, válassza ki a Nem átmenő furat alaksajátosságot a képernyőn, vagy az Alaksajátosságok ablakban. A megnyíló Furat művelet párbeszédablakban, a Stratégiát állítsuk Nincs-re a Központozás/Pontozás, az Előkészítés és a Simítás oldalon is, mivel csak előfúrást akarunk végezni, amit a Nagyolás oldalon állíthatunk be.

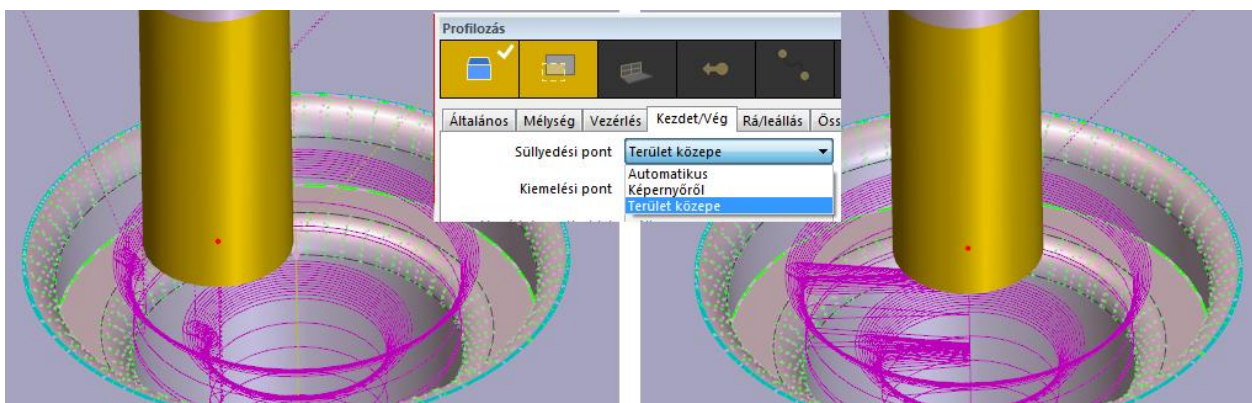
Itt először szerszámot kell választanunk, amit a Szerszámozás szakasz Keresés gombjával tehetünk meg. Ennek hatására megnyílik a Szerszám tár ablak, amiben a Fúrás fület kell választanunk, és ki kell kapcsolnunk a Szűrő alkalmazása opciót, mivel ennek hatására csak a furatátmérővel megegyező szerszámokat jelenítené meg a rendszer, amelyet a nagy átmérő miatt nem talál. Válasszuk ki a legnagyobb elérhető szerszámot, ami egy 50mm-es telibefúró, majd visszatérve a művelet ablakba adjuk meg a szerszám tárhelyét, majd válasszuk ki a Forgácstörős stratégiát és adjuk meg a ciklus fogásmélységét (6.38 ábra). Ezután jóváhagyhatjuk a beállításokat, aminek hatására ciklus elkészül.



6.38 ábra: Fúrás művelet beállításai

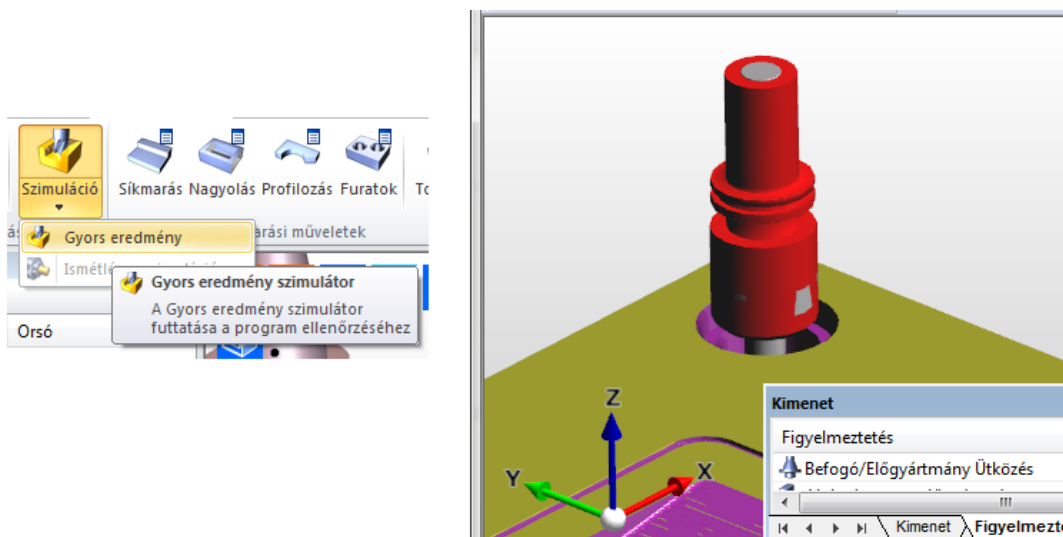
6.2.4.5 Furatok elősimítása

Az előfúrást követően a furatot is elő kell simítani, amit szintén profilozással tudunk megtenni. Ehhez újra egy Profilozás műveletet célszerű alkalmazni, a sorjacsatorna elősimításához hasonlóan. A művelethez válasszuk ki a két 3D zsebet, amit a rendszer felismert az oszlopfuratokon. Mivel a Ráhagyás és a Ráállási sugár öröklődik, ezért csak a szerszámozás oldalon kell kiválasztanunk a korábban már használt D25R2 szerszámot, ami megfelelő lehet az elősimításhoz, és a Mélység oldalon kell beállítanunk a megfelelő Fogásmélységet és Érdességmagasságot. Miután bezárjuk az ablakot, a szerszám pálya elkészül, és azt látjuk rajta, hogy a rádiuszokon pálya automatikusan besűrűsödik az érdességmagasságnak megfelelően, de a süllyesztés részen a szerszám anyagba süllyed. Ilyen típusú geometriáknál vagy spirálisan kellene dolgoznunk folyamatosan süllyedve az anyagba, vagy mindig a furat középpontjában süllyedni. Mivel ezt a műveletben nem tudjuk már beállítani, most is ciklusban kell módosítanunk a szerszám pályát. Ezt a korábbiaknak megfelelően, megtehetjük például a grafikus felületen, duplán a szerszám pályára kattintva. A ciklus Kezdet/Vég oldalán állíthatjuk be a Süllyedési és a Kiemelési pontot is Terület középre, ami a 6.39 ábrán látható helyes szerszám pályát eredményezi.



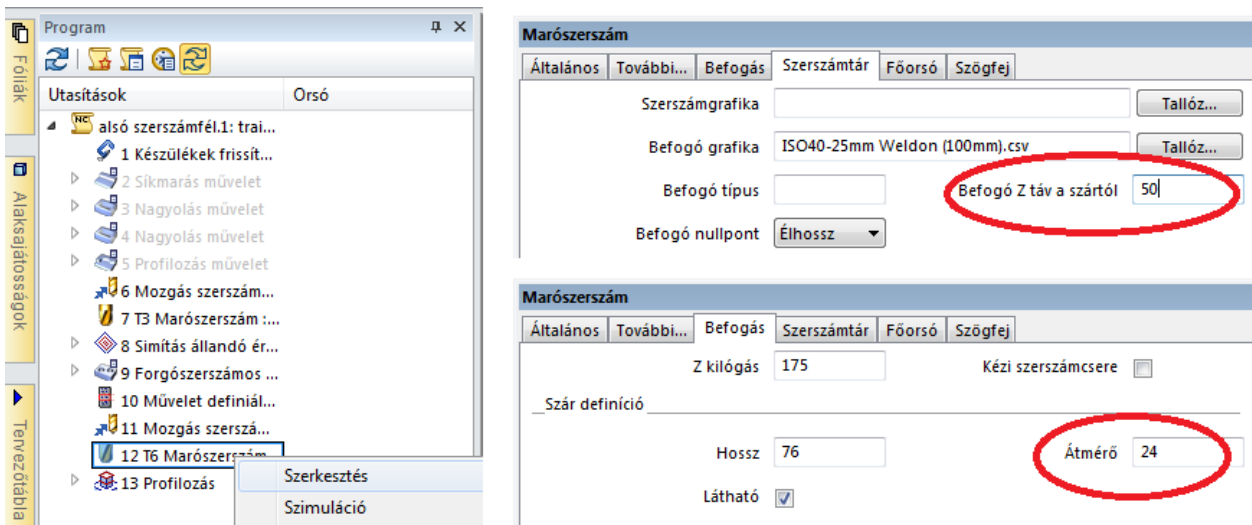
6.39 ábra: Süllyedési és Kiemelési pont módosítása

Ezzel elkészültünk az oldal nagyolásával és elősimításával. Mielőtt kigenerálnánk az NC programot, le kell futtatnunk a szimulációt. Mivel nagyon hosszú, felületsimító szerszámok vannak, ezért a normál szimuláció sok időt venne igénybe. Ilyen esetben a Gyors eredmény szimulációt célszerű alkalmazni, ami a Szimuláció utasításcsoport alatt érhető el. Ezt lefuttatva látjuk, hogy a befogó az előgyártmánynak ütközik a furatok megmunkálása miatt (6.40 ábra). Ezt az okozza, hogy a furat mélysége 100mm, míg a szerszám kinyúlása csak 75mm. A hasonló problémák kiküszöbölése miatt célszerű mindig lefuttatni a szimulációt az NC program kigenerálása előtt.



6.40 ábra: Gyors eredmény szimuláció

A szerszám módosításához zárjuk be a szimulátort, majd a programok ablakban szerkesszük a Marószerszámot (6.41 ábra). A szerszám kinyúlását úgy tudjuk módosítani, hogy a Szerszámtár oldalon megadjuk, a Befogó elhelyezési távolságát. Ez az alapértelmezett szerszámnál 20mm volt, amit a rendszer az 55mm-es élhossztól értelmezett, így a teljes kinyúlás 75mm volt. Írjuk át ezt az értéket 50mm-re, így a kinyúlásunk 105 mm lesz, ami elégséges a furat megmunkálásához. Mivel a furat mélysége nagyobb, mint a szerszám élhossza, ezért alámunkált szárú szerszámot kell alkalmaznunk, hogy az ne dörzsölje a falat megmunkálás során. Ezt a Befogás oldalon tudjuk megadni, a szerszámtátmérőnél kisebb értéket írva a Szár definíció Átmérő mezéjébe. Miután jóváhagyjuk a módosításokat futtassuk újra a Gyors eredmény szimulációt, és láthatjuk, hogy az ütközések eltűntek és kellően egyenletes felületet készítettünk a későbbi simításokhoz.

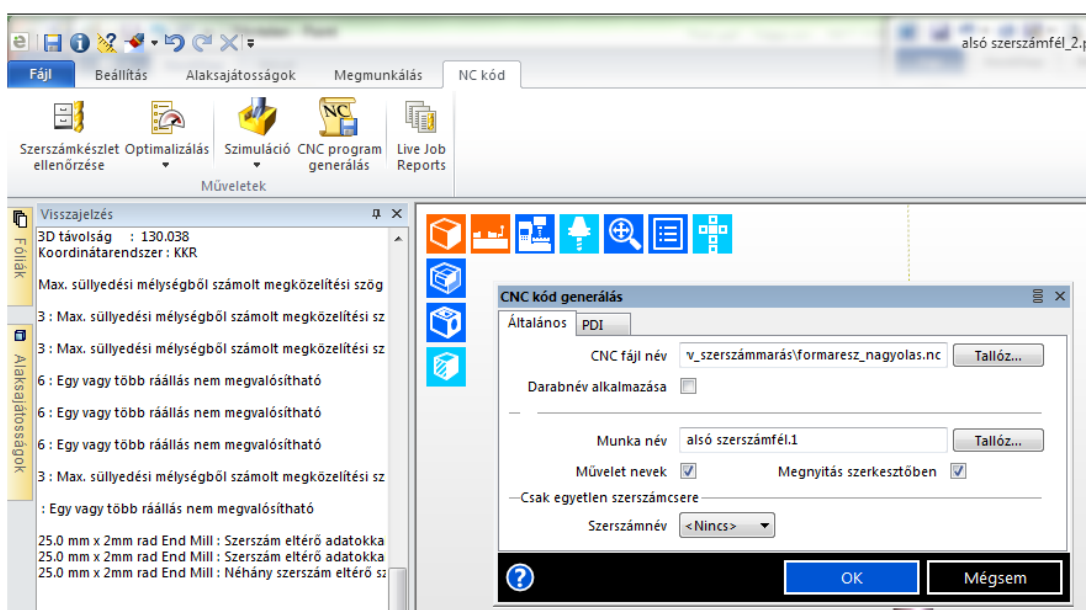


6.41 ábra: Marórszerszám szerkesztése

6.2.5 Szimuláció és NC program generálása

Most következik a programozás utolsó szakasza, az NC program generálás és dokumentálás, a menüszalag utolsó lapján. Itt még ellenőrizhetjük a szerszámainkat, hogy nem alkalmaztuk-e például több szerszámnál ugyanazt a tárpozíciót vagy akár optimalizálhatjuk a pályát, hogy egy szerszám ne kerüljön többször beváltásra. Bármilyen módosítást végzünk, utána célszerű a szimulációt újra végrehajtani.

Miután végleges a szerszámpálya, elkészíthetjük az NC programot a CNC program generálás utasítással. A megjelenő ablakban csak a program nevét és az elérési útvonalat kell megadnunk, majd OK-val generáltható a program (6.42 ábra).



6.42 ábra: CNC program generálás

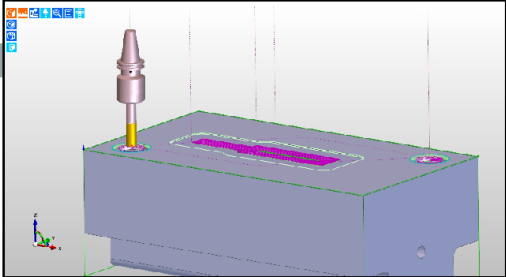


Az NC program generálásával egyidejűleg az Edgcam automatikusan elkészíti a gyártási dokumentációt is. Ezt a dokumentációt, még képernyőmentésekkel is kiegészíthetjük a Fájllap Munkakép mentése utasításában. Az elkészített gyártási dokumentáció a „Live Job Reports” munkajelentés utasítással tekinthető meg az alapértelmezett internet böngészőben (6.43 ábra). Az elkészült dokumentáció intraneten keresztül akár a szerszámgép mellé kihelyezett számítógépről is megtekinthető, de exportálható is PDF, Excel, Word vagy akár kép formátumba. Ezzel a lépéssel befejeztük a szerszám formarészének nagyolását és elősimítását, elmenthetjük az alkatrészt, is bezárhatjuk az Edgcam-et vagy továbbléphetünk a megfogási oldal nagyolására.

edgcam Munka jelentések

Munka jelentések További jelentések Aktuális beállítások

Szerszám osztópok mutatója: Függetlenül



edgcam
Egyetlen munkajelentés
2015.06.26. 13:17:44

Munka adat

Azonosító	439
Leírás	aló szerszámfé.1
Megjegyzés	
Program	aló szerszámfé.1
Ciklusidő	02:20:47
Szerszámgép	training mill mm mop
Ugyfél	
Programozó	
Anyag	Case hardening steel (150 HB)
Állapot	Nem futtatott
Verzió	
CAD fájl	D:\ajg\tankönyv_szerszámmaró\aló szerszámfé.par
CAM fájl	D:\ajg\tankönyv_szerszámmaró\aló szerszámfé_2.pdf
NC fájl	D:\ajg\tankönyv_szerszámmaró\formarész_nagyolás.nc
Előválasztott szerszám	Falco
Program szám	
2. program azonosító	
Munkadokumentáció	0
Utója módosított	2015.06.26. 13:09:22

Munka jegyzetek

Téma	
Jegyzetek	
Fájl	

Készülék és műszer jegyzetek

Téma	
Jegyzetek	
Fájl	

edgcam
Egyetlen munkajelentés
Munkautasítás lista
Felső revolverfej 1
2015.06.26. 13:19:25

Előgyártmány

Téma	
Jegyzetek	
Fájl	

Azonosító	pozíció	Leírás	Megjegyzés	Sebesség	Előtolás	Z-előtolás	Idő
1		Beállítás készítése					
2		Készülékek frissítése					
3		Síkmarás muvelet					
3.01	1	T1 Marószerszám	100.0 MM DIA X 45 DEGREE FACE MILL	1736.24	729.219	729.219	00:00:06 (00:08:47)
3.02		Síkmarás		1736.24	729.219	729.219	00:08:37
4		Nagyolás muvelet					
4.01		Mozgás szerszámcserre pozícióba					00:00:03
4.02	2	T2 Marószerszám	25.0 MM DIA X 2MM RAD END MILL	2037.18	203.718	203.718	00:00:06 (01:05:08)
4.03		Nagyolás		2037.18	203.718	203.718	01:04:59
5		Nagyolás muvelet					
5.01		Mozgás szerszámcserre pozícióba					00:00:03
5.02	3	T3 Marószerszám	8.0 MM DIA BALL NOSE MILL - LS	7161.97	1432.39	1432.39	00:00:06 (00:31:14)
5.03		Maróáramlás		7161.97	1432.39	1432.39	00:31:05

6.43 ábra: Munka jelentések

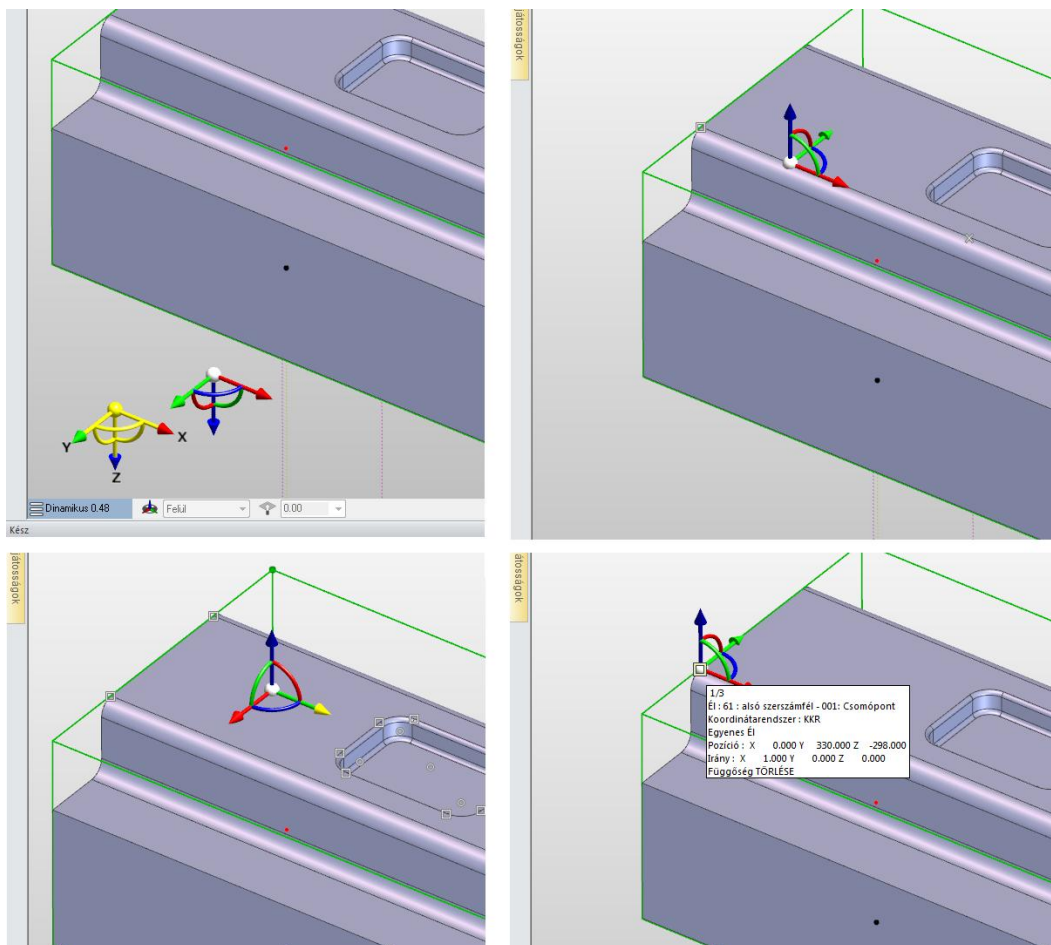
6.3 Kovácsszerszám megfogó részének nagyolása fél-automatikus CAM programozással

Ha megvizsgáljuk a szerszám alsó, megfogó oldalát, azt láthatjuk, hogy itt már sokkal egyszerűbb geometriát kell megmunkálnunk. Ez az oldal jellemzően „prizmatikus” elemekből – állandó falgeometriájú zsebből és kontúrokból épül fel, alsó és felső lekerekítésekkel, így itt fél-automatikus programozást alkalmazhatunk.

6.3.1 A megmunkálandó alkatrész betöltése

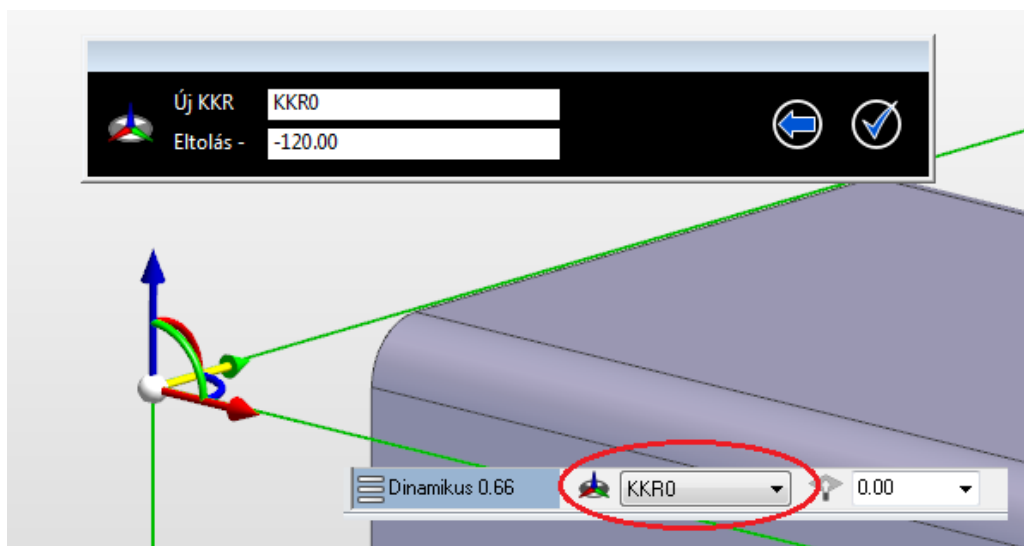
Mivel az alkatrész már be van töltve, és az alapértelmezett koordinárendszerben már megmunkálást is készítettünk rá, így az új megmunkáláshoz egy új koordinárendszer (KKR) kell készítenünk. Ennek legegyszerűbb módja, a KKR mutató dinamikus elmozgatása az új KKR nullpontjába.

Ehhez először a 6.44 ábrának megfelelően forgassuk be a testmodellt, úgy, hogy alulról lássuk azt, majd fogjuk meg a grafikus képernyő bal alsó sarkában található KKR mutatót, az egér bal gombját annak fehér gömbbel jelölt origójában lenyomva, és mozgassuk el az egeret. Láthatjuk, hogy a KKR mutató együtt mozog az egérmutatóval.



6.44 ábra: Dinamikus nullpontkészítés a KKR mutató mozgatásával

Mozgassuk az egeret a felső sík fölé, és a KKR mutató befordul, úgy, hogy a kék színnel jelölt Z-tengely merőleges lesz a felületre, ezután mozgassuk az egeret az ábrán jelölt fölé és a piros színnel jelölt X-tengely annak irányába fog mutatni. (Nem gond, ha az X-tengely irányítottága fordított, mivel azt egy későbbi lépésben módosítani tudjuk.) Végül mozgassuk az egeret a jelölt csomópontba, és engedjük fel az egér balgombját a nullpont elhelyezéséhez. Ekkor megjelenik egy párbeszédablak, amiben átnevezhetjük a koordináta-rendszert, vagy módosíthatjuk annak irányát vagy pozícióját. Az elforgatáshoz annak a síknak a negyed körívére kell kattintani, amelyik síkban forogtatni akarunk, az eltoláshoz pedig az origót megjelenítő fehér gömbre történő kattintás után, kiválaszthatunk egy új nullpontot, vagy egy tengelyre kattintva, annak irányában eltolhatjuk a koordináta-rendszert. Kattintsunk a zöld színű Y-tengelyre, és toljuk el azt -120mm-re, hogy a nullpont a bal alsó sarokpontba kerüljön, majd Enterrel fejezzük be a nullpontkészítést (6.45 ábra). A létrehozott koordináta-rendszert a grafikus képernyő alatt található KKR menüből kiválasztva tudjuk aktívvá tenni.



6.45 ábra: Nullpont áthelyezése

6.3.2 Megmunkálás beállítása

Mivel az előgyártmányunk az előző megmunkálásból öröklődik, és készüléket most sem kívánunk használni, csak a szerszámgép kiválasztását és a megmunkáló-program definiálását kell elvégeznünk.

6.3.2.1 Szerszámgép kiválasztása

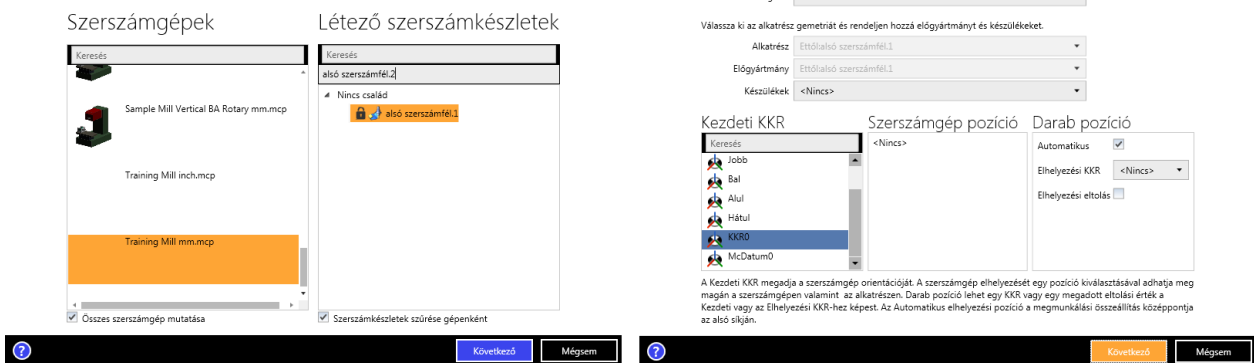
Ezt most is a Program készítése utasítással végezhetjük el a 6.2.2.3 pontnak megfelelően. Most is be kell az „Összes szerszámgép mutatása” opciót pipálni, és így az összes megjelenő szerszámgép közül ki tudjuk választani a „Training Mill mm.mcp” posztprocesszort. A „Létező szerszámkészletek” közül célszerű kiválasztani az előbb használt alsó szerszámfél.1 szerszámkészletet, hogy elsődleges választásként a korábban már alkalmazott szerszámokat használjuk a megmunkáláshoz (6.46 ábra).



Maró program készítése

Válasszon szerszámgépet és szerszámkészletet

A kiválasztott szerszámkészlet lemásolására kerül és ki lesz bővíve a neve .1 utótaggal. Vagy oldja fel a kiválasztott szerszámkészlet zárolását, hogy azt használhassa. Vagy törölje ki a szerszámkészlet nevet, ha nem kívánja használni.



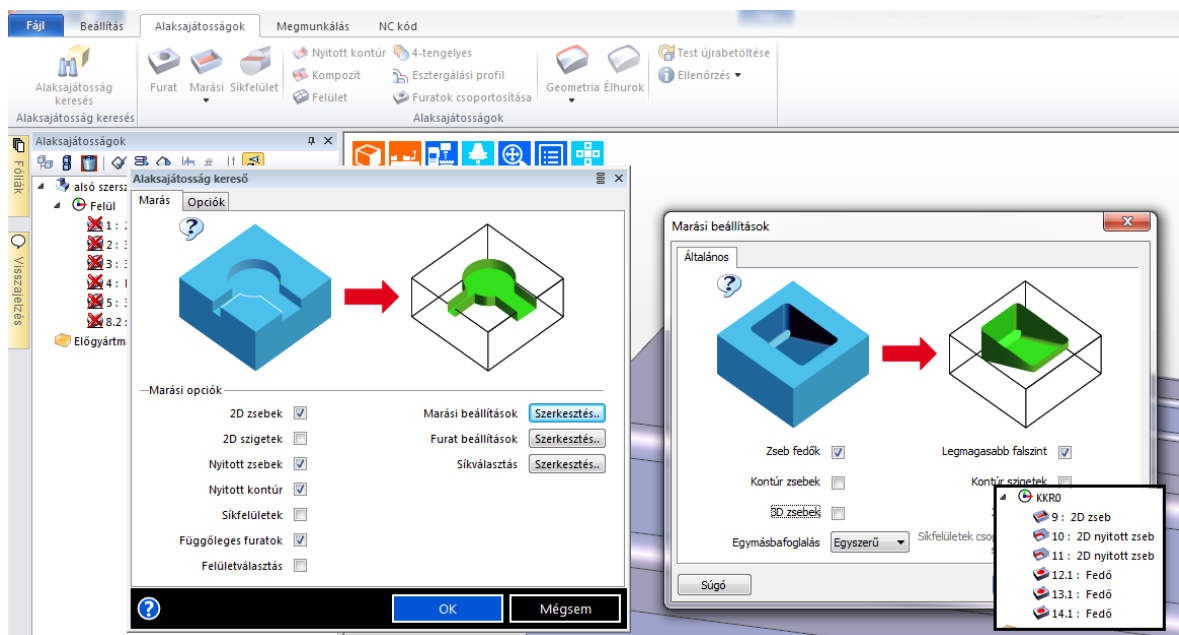
6.46 ábra: Maró program készítése

Figyeljünk rá, hogy a referencia szerszámkészlet előtti lakat zárt állapotban legyen, hogy a rendszer ne azt írja felül, hanem az alapján egy új munkát hozzon létre.

A következő oldalon ki kell választani a létrehozott koordinátarendszert, az utolsó oldalon nem szükséges semmit átállítani, az Edgcam automatikusan átveszi az előgyártmányt az előző megmunkálásból.

6.3.3 Alaksajátosság keresés

A következő lépés az alaksajátosságok legyűjtése az Alaksajátosság kereső segítségével.



6.47 ábra: Alaksajátosság kereső



Az Alaksajátosság keresőbe a 6.47 ábrának megfelelően be kell kapcsolni a 2D zsebek és a Nyitott kontúr keresése opciókat, majd a Marási beállításokban ki kapcsolhatjuk a 3D zsebek keresését, és célszerű a Zseb fedők opciót is aktiválni, annak érdekében, hogy a nagyoló maró szerszám pályákat szükség esetén kizárhassuk egyes zsebekből. Az Alaksajátosság keresőt bezárva a rendszer megkeresi az alaksajátosságokat, amik jelen esetben egy 2D zsebből, két Nyitott zsebből, és a Fedőkől állnak.

6.3.4 Megmunkálás programozása

Az alkatrész előkészítését követően elvégezhetjük a darab nagyolását. A geometria egyszerűsége miatt most nincs szükség külön nagyoló és elősimító pályákra, a Nagyoló ciklusokkal kellően egyenletes ráhagyást tudunk biztosítani a simításhoz. Ennek megfelelően a megmunkálás lépései:

1. Síkmarás ráhagyással,
2. Nyitott zsebek nagyolása ráhagyással,
3. 2D zseb nagyolása ráhagyással.

A megmunkálás programozását részben manuálisan részben az automatizmusokra támaszkodva fogjuk végezni.

6.3.4.1 Síkmarás

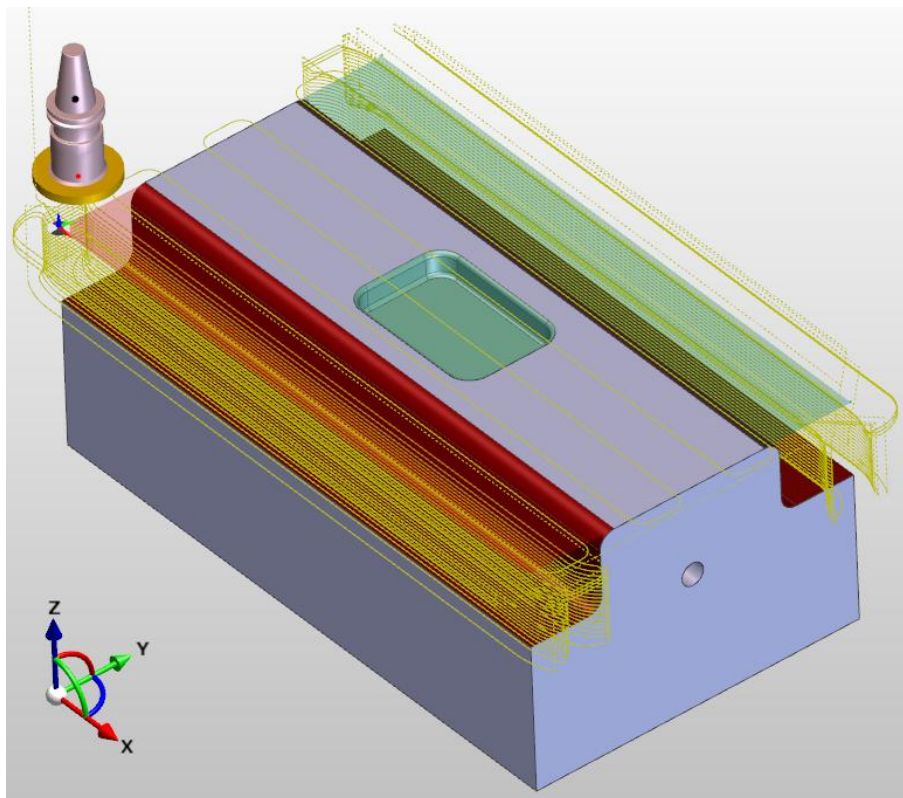
A munkadarab felső síkjának megmunkálását most is Síkmarással végezzük el. Ehhez készíthetünk egy új műveletet a Marási műveletek panel Síkmarás utasításával a 6.2.4.1 pontnak megfelelően, vagy átmásolhatjuk a Síkmarás műveletet az előző programból, ahogyan azt a 6.2.4.3 pontban a Formaüreg elősimításánál tettük a Profilozás művelettel. Mivel mind az előgyártmány profil mind a ráhagyás értékek megegyeznek az előzővel, így a másolás után nem is szükséges szerkeszteni a műveletet.

6.3.4.2 Nyitott zsebek nagyolása

A Nyitott zsebek nagyolására szintén egyszerű megoldást nyújt a korábban alkalmazott Nagyolás művelet átmásolása az előző programból. Ezzel átmásolunk valamennyi beállítást beleértve a szerszámot, valamint a ráhagyás és mélység értékeket. Egyszerűen a CTRL billentyű lenyomva tartása mellett mozgassuk az előző program első Nagyolás műveletét a második program végére (ahol egy fekete vonal megjelenik, jelezve a beszúrás helyét). Mivel a műveletet korábban az egész testre végeztük, egyből pálya is készül a testmodell zárt részeire, azaz a 2D zseb belsejére.

Mivel ezzel a művelettel nem ezt a geometriát kívánjuk megmunkálni, szerkesztenünk kell a műveletet. Ezt egyszerűen megtehetjük úgy, hogy duplán kattintunk rá az egér balgombjával a Program ablakban, vagy az egér jobb gombjával rákattintva a Szerkesztés pontot választjuk a megjelenő menüből. Ezt követően be kell pipálni a Geometriai bemenet újra megadását, és a rendszer újra kéri a geometriát a megmunkáláshoz.

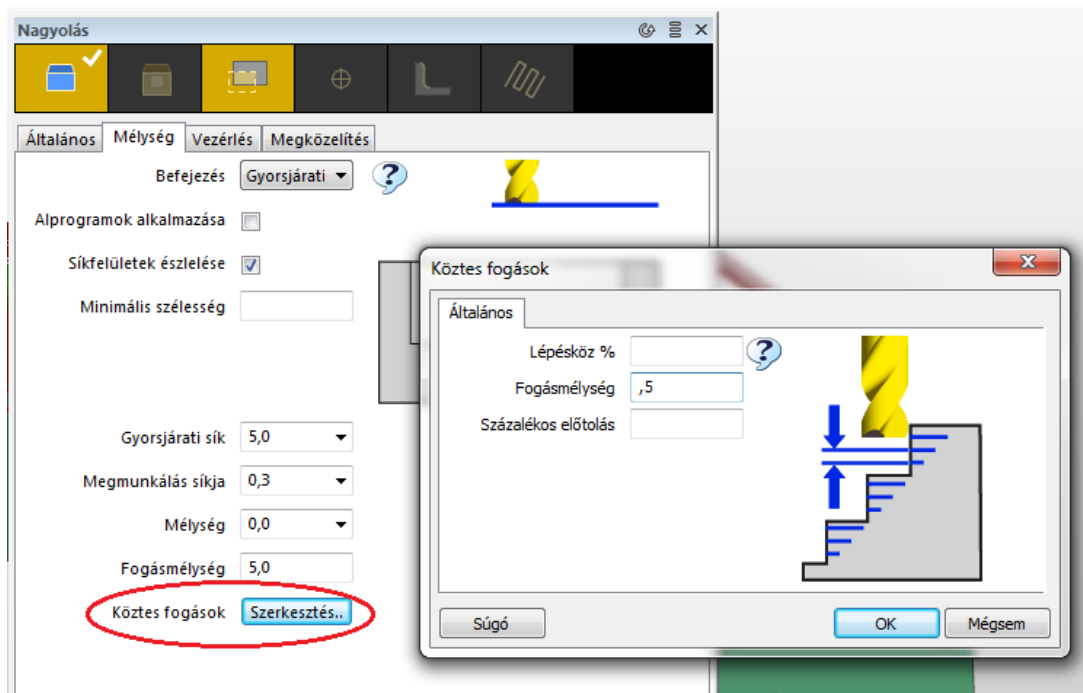
Válasszuk ki a két Nyitott zsebet (6.6. ábra), majd hagyjuk jóvá a kiválasztást jobb egérekattintással, és újabb jobb egérekattintással hagyjuk ki a befoglaló határ megadását és lépünk be a Nagyolás művelet párbeszédablakba. Az Általános oldalon állítsuk a Ráhagyás értékét 0,3mm-re, mivel nagyolás után már nem kívánunk elősimítást alkalmazni, valamint a Szerszámozás oldalon pipáljuk be az Aktuális szerszám alkalmazása opciót, hogy a korábbi nagy átmérőjű homlokmaróval végezzük el a külső vállak nagyolását. Válassza az OK gombot az ablak bezárásához és a szerszám pálya generálásához.



6.48 ábra: Nagyolás művelet szerszám pályája

A 6.48 ábrán látható szerszám pálya az alsó és felső rádiuszokon nem eredményez kellőképpen egyenletes ráhagyást, ezért, mivel nem akarunk elősimító pályát készíteni, ezeken a szakaszokon be kell sűrítanünk a nagyoló szerszám pályát. Ennek beállítására a művelet nem nyújt lehetőséget, ezt csak ciklus szinten tudjuk beállítani. A ciklus szinten történő szerkesztéshez, kattintsunk duplán a szerszám pályára a grafikus képernyőn.

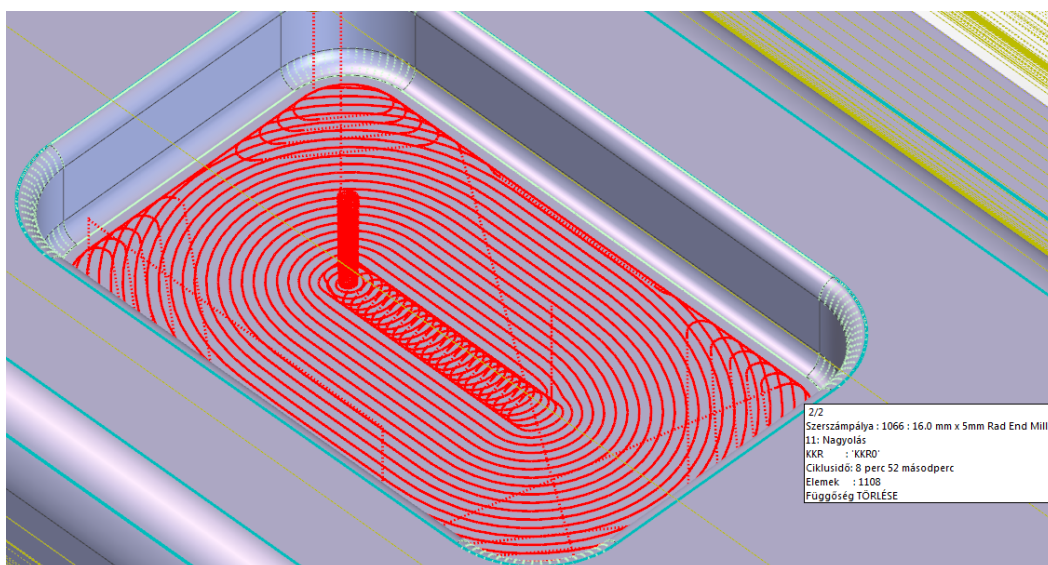
A megjelenő Nagyolás ciklusablak Mélység oldalán válassza a Szerkesztés gombot a Köztes fogások mezőnél. Ennek hatására megjelenik a Köztes fogások párbeszédablak, ahol a Fogásmélység mezőre kell megadnunk, hogy mennyire kívánjuk besűríteni a pályát a problémás részekben (6.49 ábra). A fenti beállítások hatására, plusz utónagyoló fogások kerülnek be a szerszám pályába, amelyek az után kerülnek végrehajtásra, miután a nagyolás megtörtént.



6.49 ábra: Köztes fogások beállítása nagyolóhoz

6.3.4.3 2D zseb nagyolása automatikusan

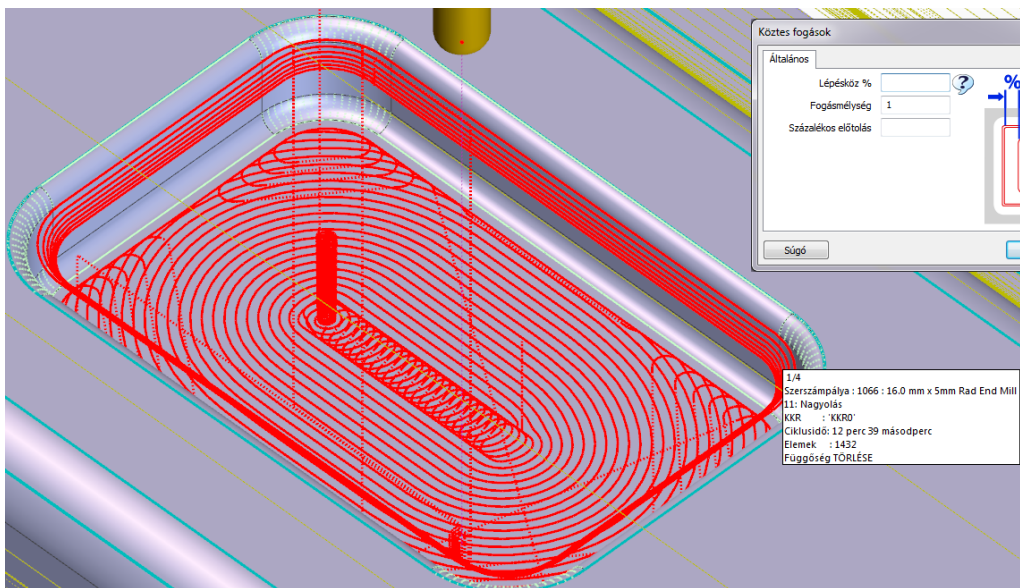
A 2D zseb nagyolását automatikusan végezzük el. Ehhez válasszuk az Alaksajátosság megmunkálása utasítást az Automatikus megmunkálás panelen. A megjelenő ablakban csak az Alkatrész Nagyolását válasszuk ki, majd OK-val hagyjuk jóvá a beállításokat, és válasszuk ki a 2D zsebet a megmunkáláshoz.



6.50 ábra: Automatikusan generált nagyoló pálya

Ennek hatására, anélkül, hogy megadtuk volna a megmunkáló szerszámot, vagy a megmunkálási paramétereit, az Edgecam automatikusan kiválasztotta az általa optimálisnak tartott szerszámot, és legenerálta a szerszám pályát, a legkorszerűbb hullámnagyoló stratégiával (6.50 ábra).

Mivel az automatikus pályagenerálás is létrehozza a ciklusokat a programablakban, így ezt a ciklust is igény szerint módosíthatjuk, például köztes fogások megadásával (6.51 ábra).

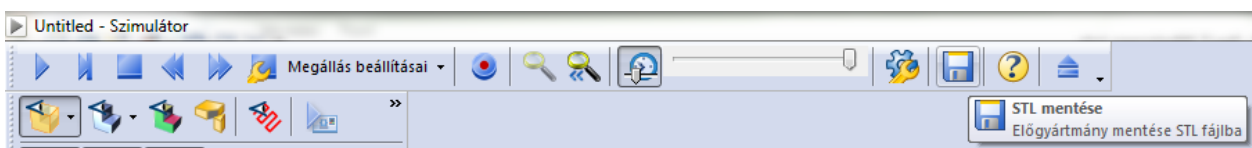


6.51 ábra: Köztes fogásokkal bővített hullámnagyoló pálya

6.3.5 Szimuláció és NC program generálása

Ezzel elkészült a megfogó oldal nagyoló szerszám pályáinak definiálása, most következik a programozás utolsó szakasza, a Szimuláció, az NC program generálás és dokumentálás, a menüszalag utolsó lapján, a 6.2.5 pontban leírtaknak megfelelően.

A megmunkálást folytathatjuk tovább ebben a fájlban is, vagy egy új Edgecam fájlt is készíthetünk a simítások számára. Most a megmunkálást egy új fájlban fogjuk folytatni, hogy a teljesen automatikus programozást is meg tudjuk nézni. Ehhez a szimuláció ablakban, az STL mentése utasítással (6.52 ábra) ki kell mentenünk az előgyártmányt, hogy azt az új megmunkálásban alkalmazni tudjuk.



6.52 ábra: STL mentése

6.4 Kovácsszerszám megfogó részének simítása automatikusan

Mint korábban megállapítottuk, a megfogó részének jellemzően „prizmatikus” elemekből – állandó falgeometriájú zsebből és kontúrokból épül fel, alsó és felső lekerekítésekkel. Mivel a rendszer a testmodell valamennyi felületét fel tudja ismerni alakrajzosságként, így a programozást akár teljesen automatikusan is végezhetjük.

6.4.1 A megmunkálandó alkatrész betöltése

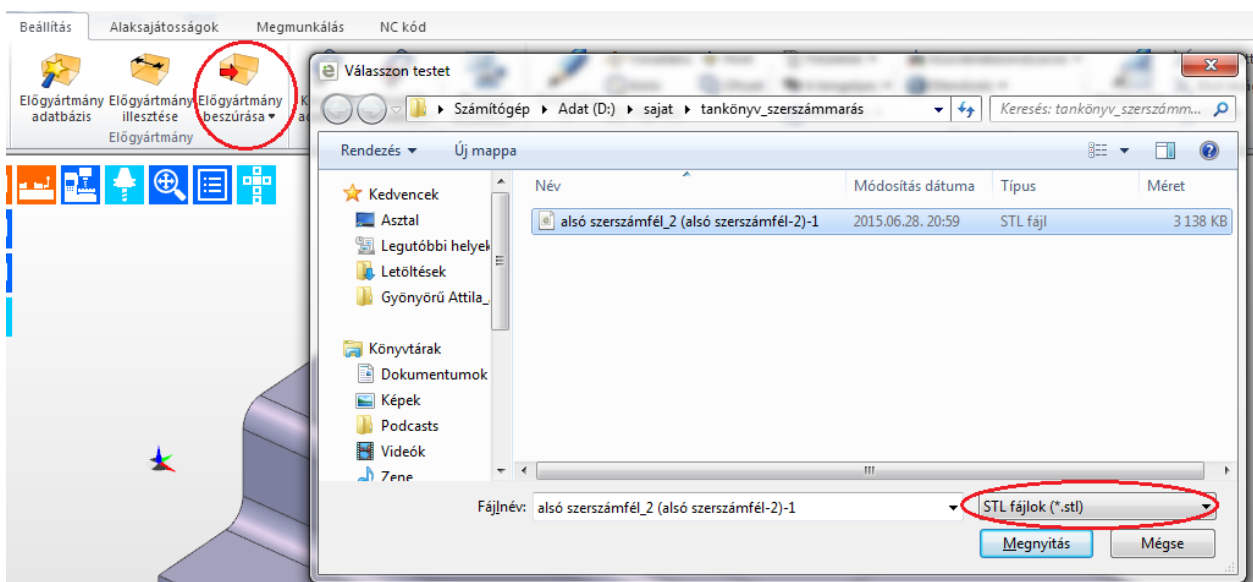
Mivel a simítást egy új Edgcam fájlban végezzük, ezért megint végre kell hajtanunk az alkatrész betöltését a 6.2.1 pontnak megfelelően. Annak érdekében, hogy a korábbi előgyártmányt minél egyszerűbben be tudjuk szűrni, az alkatrészt ugyanabba a pozícióba kell beállítanunk, mint az előző fájlban. Ezt követően egyből hozzuk létre az új koordináta-rendszert is a szerszám alsó felén a 6.3.1 pontnak megfelelően, mivel a megfogó részt kívánjuk besimítani.

6.4.2 Megmunkálás beállítása

Az alkatrész betöltését követően végrehajtjuk az előgyártmány és a szerszám gép megadását. (Készüléket most sem használunk.)

6.4.2.1 Előgyártmány megadása

Mivel az alakos előgyártmányt kívánjuk használni, aminek korábban elmetettük a 3D-s STL modelljét, ezért az előgyártmány megadására most az Előgyártmány beszúrása utasítást használjuk. Miután kiválasztjuk az utasítást a megjelenő böngészőben a fájl típust állítsuk STL fájlra, tallózzuk ki a korábban lementett fájlt, majd kattintsunk a Megnyitásra (6.53 ábra).



6.53 ábra: Előgyártmány beszúrása

Ezután válasszuk ki az alapértelmezett Felül KKR nullpontját, mint az alkatrész beszúrási pontját, majd jobb klikkel hagyja jóvá a kiválasztást.

Ennek hatására az STL modell beszúrásra kerül, és automatikusan beállításra kerül előgyártmányként.

6.4.2.2 Szerszámgép kiválasztása

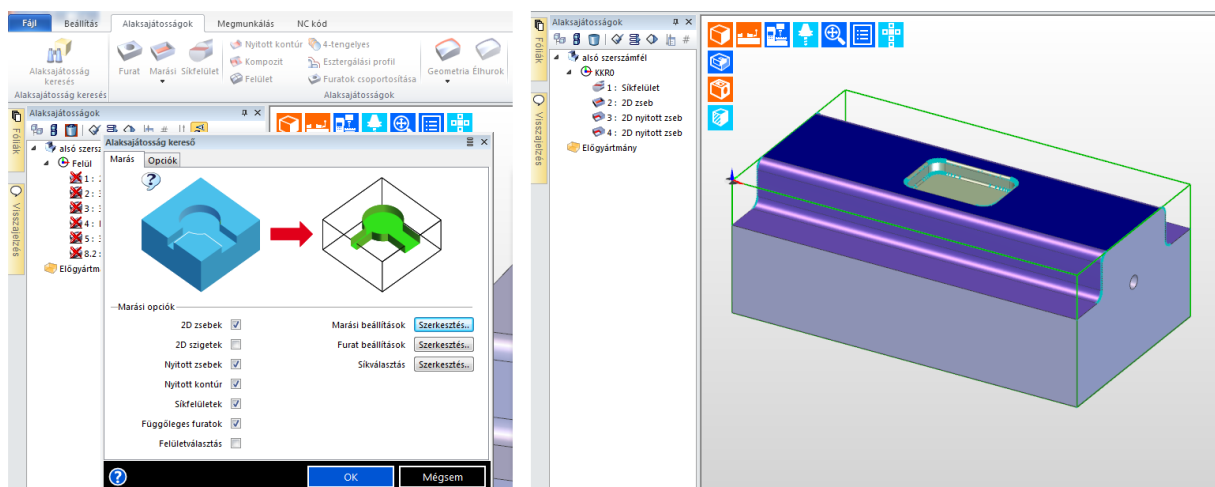
A gépválasztást most is a Program készítése utasítással végezhetjük el a 6.3.2.1 pontnak megfelelően. Be kell az „Összes szerszámgép mutatása” opciót pipálni, és így az összes megjelenő szerszámgép közül ki tudjuk választani a „Training Mill mm.mcp” posztprocesszort. A „Létező szerszámkészletek” közül célszerű kiválasztani a korábban használt alsó szerszámfél.1 szerszámkészletet, hogy elsődleges választásként a korábban már alkalmazott szerszámokat használjuk a megmunkáláshoz (6.46 ábra).

Figyeljünk rá, hogy a referencia szerszámkészlet előtti lakat zárt állapotban legyen, hogy a rendszer ne azt írja felül, hanem az alapján egy új munkát hozzon létre.

A következő oldalon ki kell választani a létrehozott KKRO koordinátarendszert, az utolsó oldalon nem szükséges semmit átállítani.

6.4.3 Alaksajátosság keresés

A következő lépés az alaksajátosságok legyűjtése az Alaksajátosság kereső segítségével.



6.54 ábra: Alaksajátosság keresés

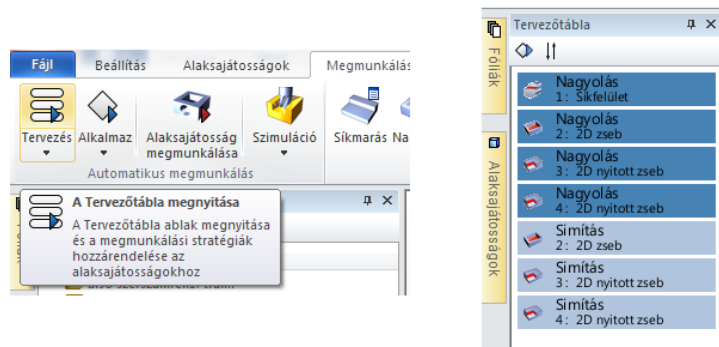
Az Alaksajátosság keresőbe a 6.54 ábrának megfelelően be kell kapcsolni a 2D zsebek, a Níytott kontúr és a Síkfelületek keresése opciókat. Az Alaksajátosság keresőt bezárva a rendszer megkeresi az alaksajátosságokat, amik jelen esetben egy Síkfelületből, egy 2D zsebből és két Níytott zsebből állnak.

6.4.4 Megmunkálás programozása

Az alkatrész előkészítését követően elvégezhetjük a darab simítását. Az automatikus programozást két lépésben hajtjuk végre. Az első lépés a megmunkálási stratégiák alaksajátosságokhoz rendelése és a sorrendtervezés a Tervezőtáblában, a második pedig a hozzárendelt stratégiák automatikus alkalmazása valamennyi alaksajátosságra.

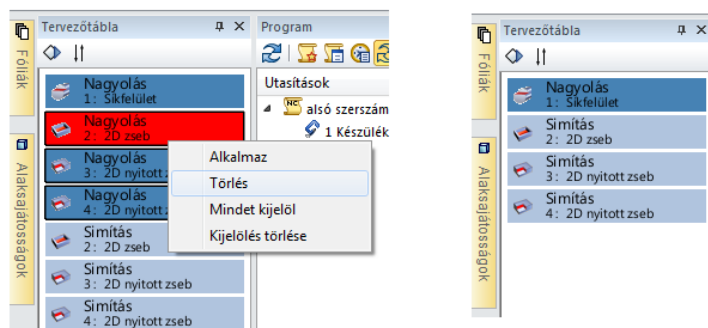
6.4.4.1 Tervezőtábla

A Tervezőtábla utasítás hatására megnyílik a Tervezőtábla, és megjelenik benne a javasolt megmunkálási stratégia valamennyi alaksajátossághoz, a javasolt sorrendben (6.55 ábra).



6.55 ábra: Tervezőtábla megnyitása

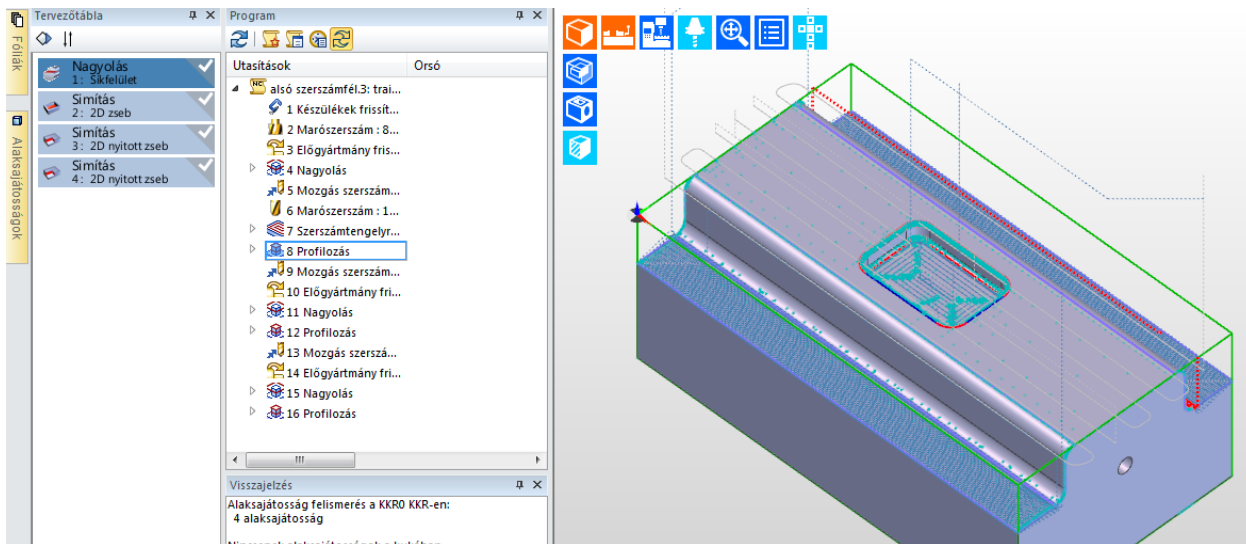
Mivel a Zsebek nagyolását már elvégeztük, ezek nagyolását törölhetjük a listából, így csak a síkfelület simítására szolgáló nagyoló stratégia és a simítások maradnak a Tervezőtáblán (6.56 ábra).



6.56 ábra: Elemek törlése a Tervezőtáblából

6.4.4.2 Stratégiák alkalmazása

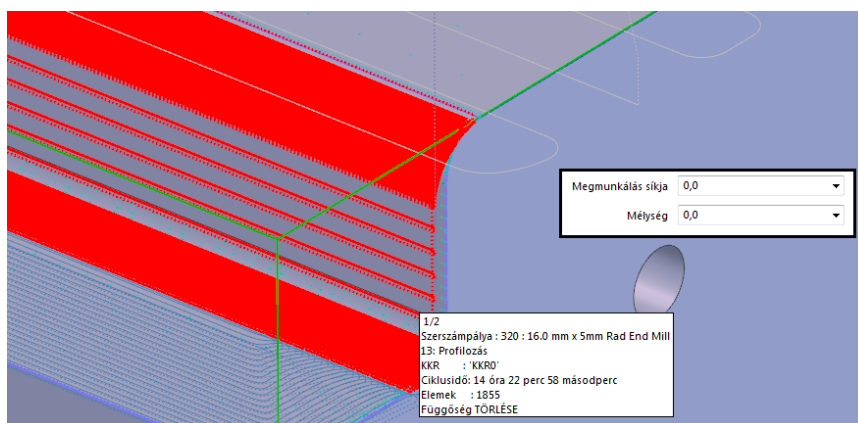
Az Alkalmaz utasítással tudjuk valamennyi alaksajátosságra lefuttatni a hozzárendelt stratégiákat. Ezek számítása néhány perct is igénybe vehet az alkatrész bonyolultságától függően. Miután a megmunkálások elkészülnek, a tervezőtáblán minden elem kipipálásra kerül (6.57 ábra).



6.57 ábra: Automatikus generált Simítópályák

Mivel az Edgecam az automatikusan generált szerszámpályákat is létrehozza a Program ablakban, így igény esetén ezeket még kézi úton szintén szerkeszthetjük, hogy jobban megfeleljenek megmunkálási igényeinknek.

Jelen esetben például az alkalmazott stratégiák lekerekítéseket nem tartalmazó zsebekre vannak optimalizálva, így célszerű szerkeszteniük a 8, 12 és 16 számú profilozásokat a Fogásmélység finomításához, és 0,01 mm-es Érdességmagasság megadásához azok Mélység oldalán, hogy a szerszámpályák besűrítésre kerüljenek a lekerekítéseken (6.58 ábra).



6.58 ábra: Módosított profilozás



6.4.5 Szimuláció és NC program generálása

Ezzel elkészült a megfogó oldal simító szerszámpályáinak definiálása, most következik a programozás utolsó szakasza, a Szimuláció, az NC program generálás és dokumentálás, a menüszalag utolsó lapján, a 6.2.5 pontban leírtaknak megfelelően.

6.5 Kovácsszerszám formarészének manuális simítása

Ennek a résznek a simítása során a 6.2.2.3 pontnak megfelelően kell megadnunk a szerszámgépet, és a 6.2.3 pontnak megfelelően tudjuk felismertetni az alaksajátosságokat. A megmunkálást a 6.2.4.1 pontban bemutatott Síkmarás és a 6.2.4.3 pontban bemutatott Profilozás és Simítás állandó érdességmagassággal pályákkal az ott leírtaknak megfelelően tudjuk elvégezni. A megmunkálás során csupán a ráhagyás értékét kell 0-ra állítanunk, és a pályasűrűséget kell megnövelni a Fogásmélység és a Lépésköz értékek csökkentésével, vagy az Érdességmagasság finomításával. A technológiai paramétereket (előtolás, forgácsolási sebesség) szintén a simítási technológiához és az elvárt felületminőséghez kell igazítani. A szerszámpályák generálását követően a Szimuláció, az NC program generálás és dokumentálás, a 6.2.5 pontban leírtaknak megfelelően történik.

6.6 További szerszámpályák és lehetőségek

A fenti példán keresztül, a teljesség igénye nélkül mutattuk be az Edgecam Workflow megmunkálási lehetőségeit a 2015R1 verzióban. Mivel a rendszert folyamatosan fejlesztik, ezért előfordulhat, hogy a szoftver korábbi vagy későbbi verzióiban egyes lépéseket más módon célszerű, vagy csak másképpen lehet végrehajtani.

Természetesen a rendszer számos más megmunkálási lehetőséget is tartalmaz. Így a marási környezetben számos más 3-tengelyes ciklust is használhatunk felületmaráshoz, ahogy azt a 6.1.4.3 fejezetben említettük. E mellett elérhető a szimultán öttengelyes felületmarás is egyszerű zsebfal-marástól a legösszetettebb turbinakerék vagy beömlő csatorna-marásokhoz.

A marógépek programozása mellett, az Edgecam teljes körű lehetőséget nyújt akár két orsós és többrevolveres esztergaközpontok, vagy 4-tengelyes huzalos szikraforgácsoló gépek programozására is.



7 KOMMUNIKÁCIÓS CSATORNÁK, AZ OPTIMALIZÁLÁS LEHETŐSÉGEI [31]

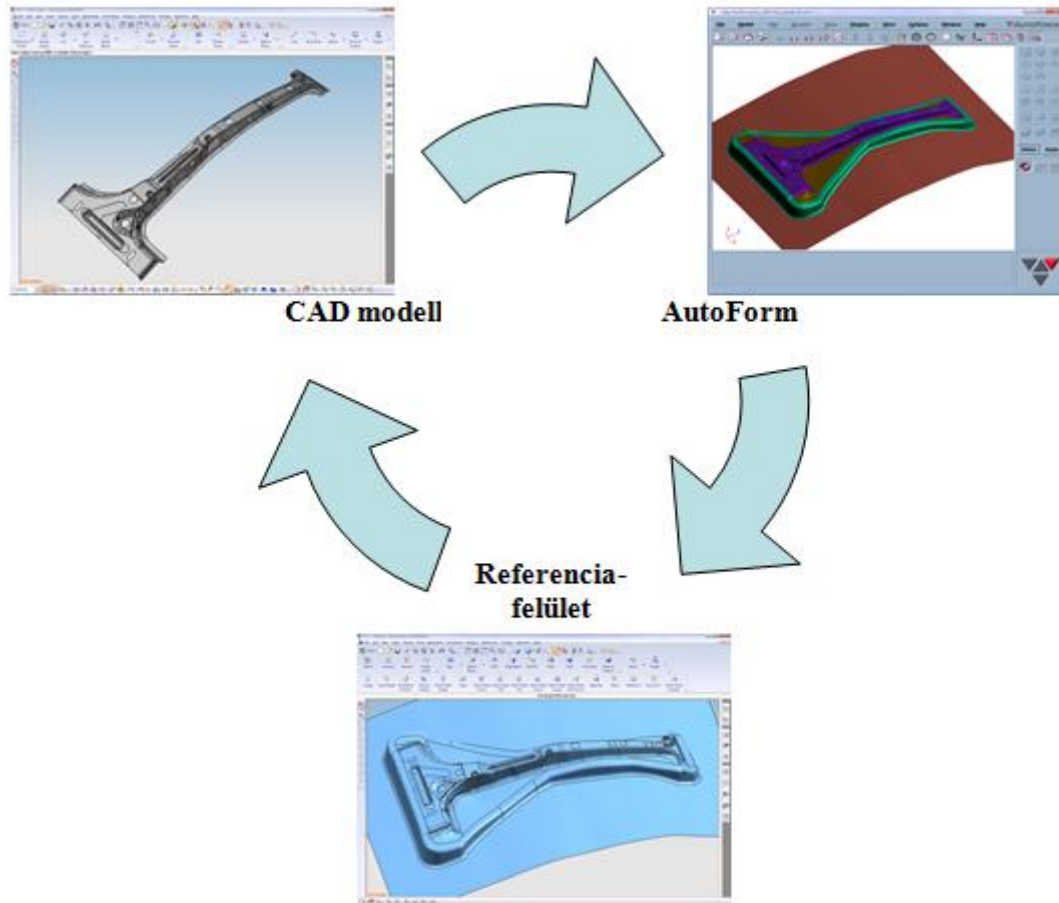
A forgácsolás, és a képlékeny lemezalakítás napjaink egyik legdinamikusabban fejlődő gyártástechnológiája, különösen fontos szerepet tölt be az iparban mindig is húzóágazatnak tekinthető autóiparban. A korszerű gyártás ma már elképzelhetetlen a különféle számítógépes tervező rendszerek és az alakítási folyamat modellezését egyre hatékonyabban megvalósító végeselemes programrendszerek nélkül. Bár a számítógépes tervezés (CAD) és a végeselemes modellezés (FEM) külön-külön is igen jelentős fejlődést eredményezett a gyártási technológiák fejlődésében, forradalmian új megoldásokat a két rendszer szerves kapcsolatát megvalósító integrált alkalmazásuk eredményez.

A fejezetben egy iparban alkalmazott kommunikációs és optimalizáló modult mutatunk be. A lemezalakító iparban – és ezen belül is az autóiparban – világszerte elterjedt CAD rendszereket alkalmaznak: ezek között is vezető helyet foglal el a Unigraphics NX, a CATIA és a Solidworks. Ezek mindegyike rendelkezik a lemezalakítás különféle műveleteinek technológiai tervezését is támogató lemezalakító (sheet metal) modullal. A CAD rendszerek mellett egyre szélesebb körben alkalmazzák a különféle végeselemes modellező szoftvereket is. A különféle általános rendeltetésű végeselemes programrendszerek (mint például a MARC, az ABAQUS, a NASTRAN, stb.) mellett a kimondottan a lemezalakító ipar igényeinek figyelembevételével kidolgozott speciális, célorientált rendszerek között a leghatékonyabbak az AutoForm, a Pam-Stamp és a DynaForm.

Az előzőekben felsorolt programok közül az ipar többet is alkalmaz lemezalakítási feladatok megoldására. Ezek közül a Unigraphics CAD rendszer és az AutoForm végeselemes programrendszer azért is kiemelt jelentőségű, mert az egyre inkább alapkövetelményként megfogalmazható integrált kapcsolat megvalósítására e két programrendszer rendelkezik a leghatékonyabb adat- és információ forgalmat biztosító interfész modullal. A jelen előadásban a Unigraphics CAD rendszer és az AutoForm végeselemes modellező rendszer közötti integrált kapcsolatot és az ebből adódó műszaki-gazdasági előnyöket kívánjuk bemutatni.

7.1 Az AutoForm-Unigraphics (AF-UG) interfész

Az AutoForm jelenleg két, az autóipari vállalatoknál piacvezető, és leggyakrabban alkalmazott CAD rendszerhez rendelkezik hatékony adatcserét biztosító interfész modullal, nevezetesen a CATIA és az NX CAD rendszerekhez. Magyarországon a Unigraphics/NX alkalmazása a legáltalánosabb, ezért a továbbiakban az AutoForm-Unigraphics interfész bemutatásával foglalkozunk. A számítógépes tervező rendszer (UG/NX) és a végeselemes modellező rendszer (AutoForm) közötti interfész működésének elvi vázlatát az alábbi ábra mutatja.



7.1. ábra: Az UG-AF interfész működésének elvi vázlata

7.2 A UG-AF interfész modul integrálása

A Unigraphics-AutoForm interfész modul önállóan licenszelhető modul, amelynek integrálása után először aktiválnunk kell az interfészt. Ezt követően az alábbi ábrán látható menüsor segítségével valósítható meg a két rendszer közötti, különféle célfeladatok megoldását szolgáló adat- és információ forgalom.



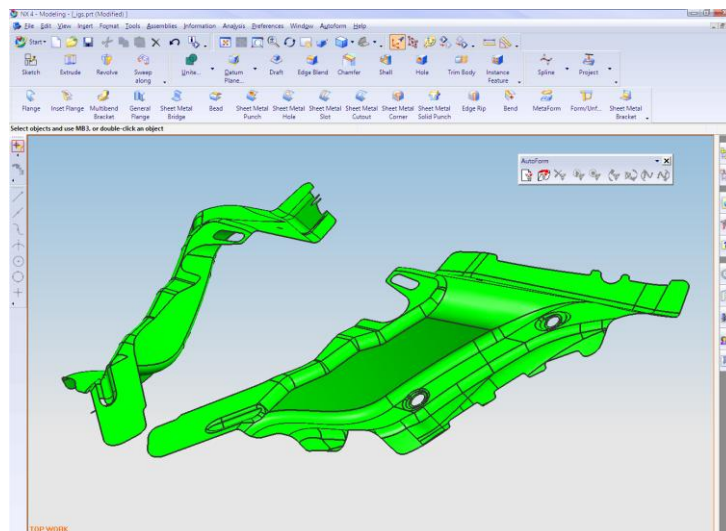
7.2. ábra: Az Autoform-NX interfész kezelő felülete

A 7.2. ábra mutatja a kezelőfelületen rendre a következő alapfunkciókat, illetve a két rendszer közötti átjárás lehetőségeket vezérelhetjük:

- Új Autoform projekt létrehozása
- Létező AutoForm projekt módosítása, illetve a kapott eredmények exportálása
- Az AutoForm leválasztása, az átjáró lezárása

- Az AutoForm indítása/leállítása
- Rajzelemek átvitele az AutoFormba (update AutoForm)
- Rajzelemek átvitele NX-be (update NX)
- Görbék exportálása AutoFormba, illetve importálása AutoFormból.

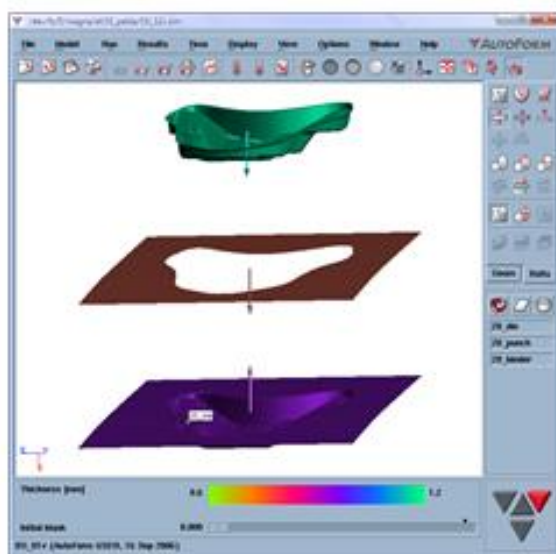
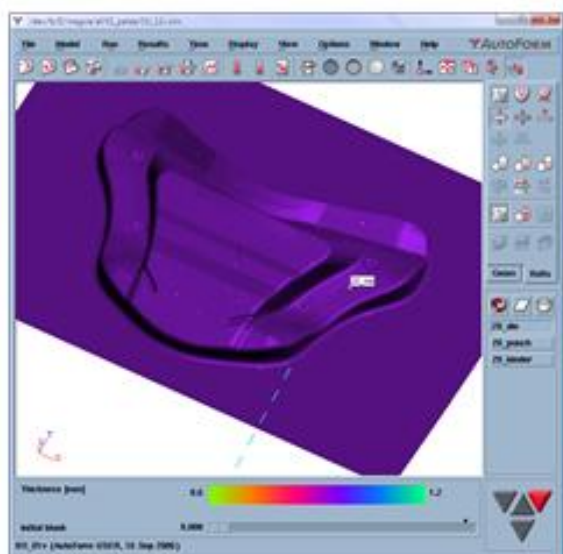
A következőkben a két rendszer közötti átjárhatóságot egy konkrét autóiipari lemezalkatrész tervezési és szimulációs folyamatán keresztül mutatjuk be. A gyártandó alkatrész – az autóiiparban gyakran szokásos módon – ún. jobbos-balos kivitelben készül. A gyártandó alkatrészek CAD modelljét a 7.3. ábra mutatja.



7.3. ábra: Alakítandó alkatrészek

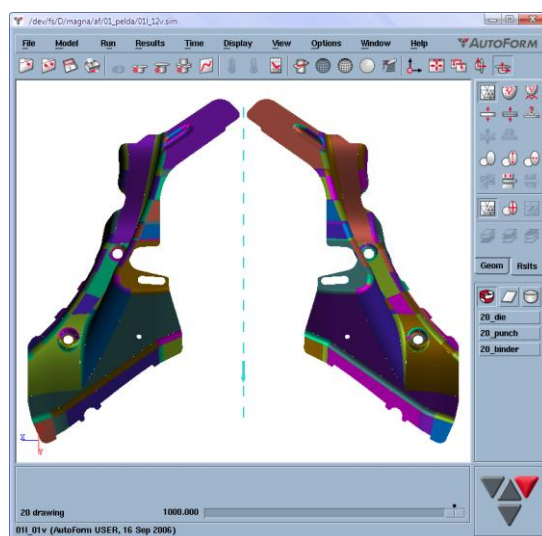
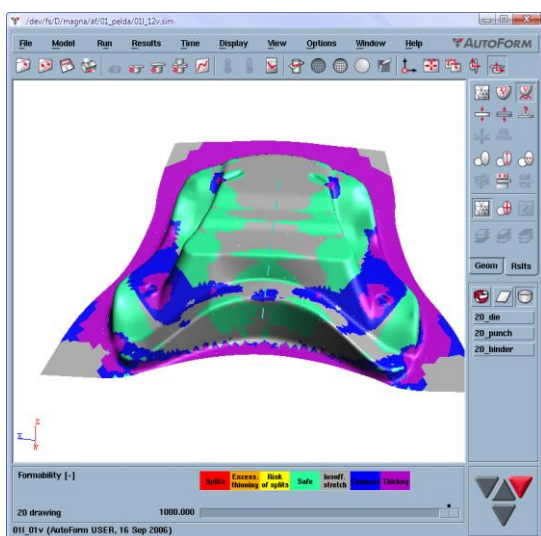
7.3 Alkatrészek képlékenyalakításának végeeselemes szimulációja

A gyártandó alkatrész CAD modelljét az AutoForm programba beolvasva az Input generator és a DieDesigner modulban elkészítjük az alakítási modellezéshez szükséges ráncgátlót, valamint az alkatrész és a ráncgátló közötti összekötő felületet (az ún. addendum felületet), az alábbi ábrán látható referenciafelületet kapjuk, amelyből definiálhatjuk a bélyeg, a matrica és a ráncfogó felületeket. Az aktív szerszámok alakítás előtti térbeli elhelyezkedését a 7.4. ábra mutatja.



7.4. ábra: A szerszámfelületek előállításához szükséges referenciafelület és az alakító szerszámok térbeli elhelyezkedése az alakítás előtt

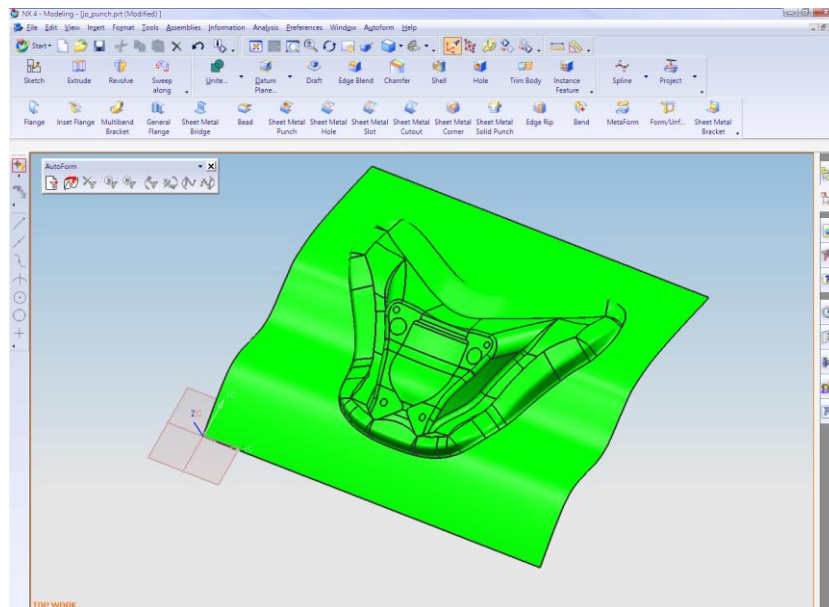
Az előzőekben leírtak szerint elkészített szerszámokkal és beállított technológiai paraméterekkel az alakítás részletes szimulációjának eredményeit mutatja a 7.5. ábra. (Az ábra bal oldalán a szimuláció eredményei a húzási művelet után, de még a körülvágás és a szimmetrikus két alkatrész szétválasztása előtti állapotban láthatók, míg az ábra jobb oldalán a körülvágási és szétválasztási műveletet követően.)



7.5. ábra: Alakítási elrendezés

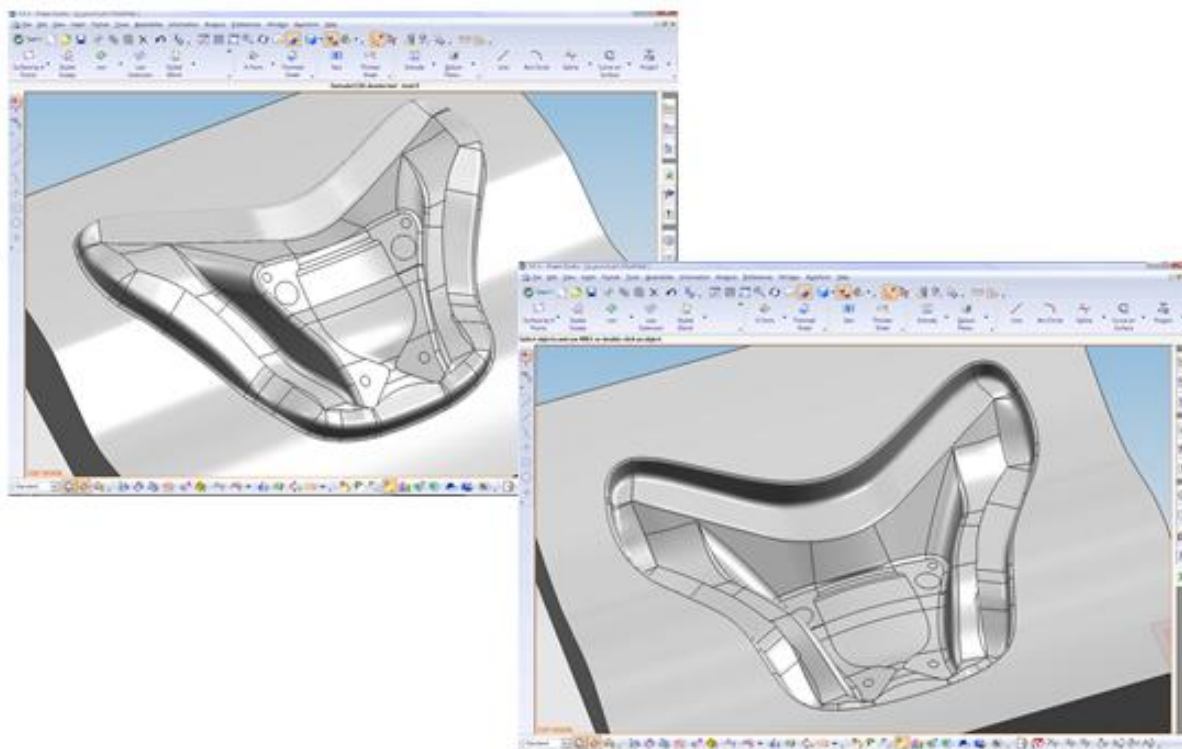
7.4 A referencia felület importálása

Amennyiben a szimuláció sikeres, azaz az alakítási folyamat modellezése során sem szakadást, sem megengedhetetlen mértékű ráncosodást nem észleltünk, következhet az alakítószerszámok részletes megtervezése a Unigraphics CAD rendszerben. Ehhez az előzőekben ismertetett módon előállított referencia felületeket az **'update unigraphics'** gombbal importáljuk a Unigraphics CAD rendszerbe, megadva, hogy melyik layer-re, azaz munkánk melyik rajzrétegére importáljuk az elkészült modellt. Az AF-UG interfész alkalmazásával a referencia felületet importálva, az alábbi ábrán látható felületmodellt kapjuk.



7.6. ábra: Az AutoFormból importált referencia felület a Unigraphics rendszerben

Az egyesített felületmodell felhasználásával elkészíthetők az alakítást végző aktív szerszámelemek testmodelljei. A 7.7. ábra bal oldalán a bélyeg, az ábra jobb oldalán pedig a matrica test modellje látható.



7.7. ábra: Referencia felület felhasználása a gyártásban

Az aktív szerszámelemek testmodelljeit felhasználva, a teljes alakítószerszám CAD modellje a továbbiakban a CAD rendszerekben megszokott tervezési metodikával elkészíthető.

A CAD rendszerek és a végesselemes modellezést végző FEM rendszerek átjárhatósága tervezői, és szimulációs oldalról is rendkívül fontos. A végesselemes folyamatmodellezésen alapuló technológiai tervezés és a számítógéppel segített szerszámtervezés egységes rendszerben való integrálása mind a tervezési folyamat idő- és munkaráfordításának csökkentése, mind pedig a fokozott minőségű megvalósítás szempontjából alapvető jelentőségű. Az AutoForm végesselemes programrendszer és a Unigraphics CAD rendszer között megvalósított adat- és információs csere úttörő kezdeményezésnek számít és igen nagy mértékben támogatja mind a folyamat tervező, mind pedig a szerszámtervező mérnökök munkáját.

A kommunikációs csatornák alkalmazásával tehát a különböző rendszerek további integrációja valósulhat meg. Ennek következtében a modulok egyre komplexebb parametrizált modelleket mozgatnak egymás közt, fenntartva azt az önellenőrzési láncot, melynek segítségével a gyártási hibák kiküszöbölhetők.

A folyamat végeredménye tehát egy olyan CNC program, mely minden tekintetben optimalizált a termék- és a gyártóeszközünk oldaláról is, így kialakul egy olyan komplex rendszer, mely a produktumra jelentős hatással bír.



A rendszer tovább fejlesztése benne van a modulokból történő építkezésben, hiszen a fejlesztők benne hagyják a saját modul készítésének lehetőségeit, és az azokhoz való kapcsolódási pontokat a rendszerben.

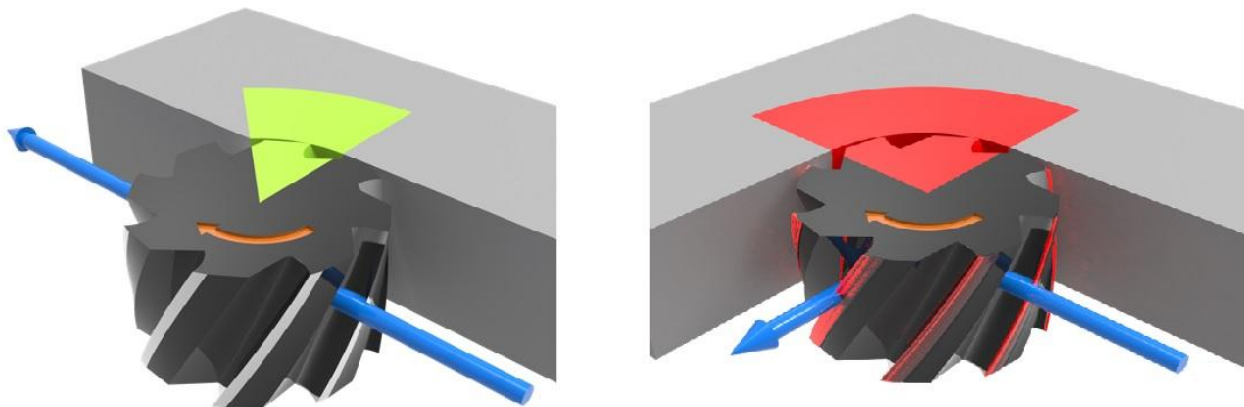
Ha ezt megfelelő módon ki tudjuk használni, akár egy új technológizálási lépést, akár egy új elvi rendszer szerinti teljesen parametrizált, és akár a saját gyártóeszközünk információira is optimalizált komplex modellt, paraméterlistát, és CNC programot mozgathatunk.

8 AZ ELJÁRÁS TOVÁBBI FEJLŐDÉSÉNEK LEHETŐSÉGEI

Bár a CAM rendszereket már a '70-es évek óta fejlesztik, a rendszerek és a programozási folyamat napjainkban is dinamikusan fejlődik. A fejlődést az iparág valamennyi résztvevője befolyásolja, beleértve a forgácsoló-szerszám gyártókat, a szerszámgyártókat és természetesen a felhasználókat. Emellett jelentős hatással van rá az informatikai háttér fejlődése, beleértve a hardverek fejlődését, valamint az informatikai irányvonalakat is, mint a rendszerintegráció vagy a felhő alapú információ technológia.

Ennek megfelelően megkülönböztetünk technológiai fejlesztéseket, amik az iparág új technológiáinak kiszolgálását célozzák, valamint, a felhasználói élmény fokozását célzó fejlesztéseket, amely nem csupán a felhasználói felület korszerűsítését foglalja magában, de beleértjük a minél egyszerűbb és gyorsabb programozást és szerszám-pálya generálást, az automatizmusok fejlesztését, és a minél automatikusabb és szélesebb körű információátadást az informatikai rendszer elemei között (CAD/CAM/PDM/ERP).

A technológiai fejlesztések célja, hogy a szerszámgyártók és szerszámgyártókat által kifejlesztett korszerű technológiákat a CAM rendszerek minél előbb támogatni tudják, a korszerű szerszámok és szerszámgépek maximális kihasználása érdekében. Ilyen nagyjelentőségű fejlesztés volt a közelmúltban egy új nagysebességű nagyoló technológiai hullámformájú nagyolás kifejlesztése. Az új technológia a hagyományos nagyoló technológia azon problémáját küszöböli ki, hogy az a végleges geometriát szeletekre bontva, állandó oldalirányú fogásmélységgel dolgozik. Ennek következtében az irányváltási helyeken megnő a szerszám oldalirányú anyagba merülési szöge, azaz a szerszám és a munkadarab közötti kapcsolószög, ami nagyobb forgácsoló erőket eredményez (8.1 ábra).



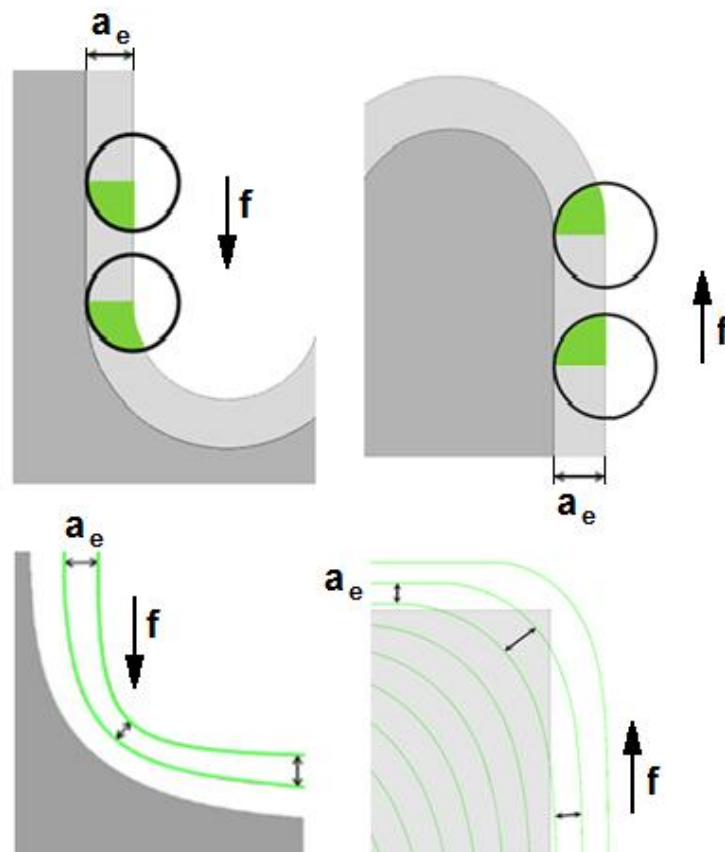
8.1 ábra: Kapcsolószög változása irányváltáskor hagyományos stratégiánál

Emiatt a technológiai paramétereket ebben az esetben úgy kell megadnunk, hogy azok az irányváltási helyen is megvalósíthatóak legyenek, ami miatt a szerszám-pálya nagy részén a technológiai nem hatékony. Az új stratégia viszont az előgyártmányból kiindulva nem a fogásvételt, hanem a szerszám anyagba merülési szöget tartja állandó értéken, azaz külső sarkokban növeli, belső sarkokban csökkenti az oldalirányú fogásvétel értékét (8.2 ábra).

Ez a technológia lágyacél marásnál 50%-ot meghaladó nagyolási idő csökkentést eredményez, míg keménymarásnál, munkadarab anyagtól és forgácsoló szerszámtól függően akár 10% körüli értékre is le tudja csökkenteni a nagyolási időt a hagyományos stratégiához képest.

A hullámformájú nagyolást marás esetében tömör szármarókkal tudjuk leginkább kihasználni, a szerszámtátmérő 20%-a körüli oldalirányú fogásvétellel, és a szerszámtátmérő 2-3-szorosának megfelelő fogásmélységgel.

A hullámformájú nagyoló technológiát esztergálásnál is alkalmazhatjuk körlapkás szerszámokkal történő megmunkálásnál, ahol szintén jelentő előtolás növekedést érhetünk el az anyagba merülési szög állandó értéken tartásának köszönhetően.



8.2 ábra: Oldalirányú fogásvétel hagyományos és hullámformájú stratégiánál

Szintén jelentős technológiai fejlődés a maró- és esztergagépek közötti határ elmosódása. Hiszen míg az esztergaközpontokon egy nagyobb teljesítményű, akár B-tengelyes maróorsók jelennek meg, addig a megmunkáló-központokon egyre inkább jelennek meg a nagysebességű forgóasztalok, amik esztergálásra is lehetőséget nyújtanak. Gyakran ezeken a gépeken már nem a gépfelépítés, hanem a vezérlés határozza meg, hogy maró- vagy esztergagépről beszélünk. Ez az összemosódás azt eredményezi, hogy a CAM rendszerben is



folyamatosan tűnnek el a marási és esztérgálási környezet közötti különbségek, és a fejlesztés egyetlen, közös környezet kialakítása irányába mutat.

A gyártási átfutási idők csökkenésével elengedhetetlen a programozási idő csökkentése is. Jól nyomon követhető a CAM fejlesztésben az az igény, hogy a programozás a testmodellekben tárolt intelligenciát kihasználva, minél automatikusabban készítsen, állandó minőségű szerszámpanyákat. Ennek következtében a fejlesztés központi területe a CAD-rendszerekkel történő, köztes fájlformátumokat nem igénylő kapcsolattartás, annak érdekében, hogy a lehető legtöbb információt kinyerjük a testmodellből. Így nem csak a szigorú értelemben vett geometriai információkat, de például a menetjelöléseket vagy a PMI (alkatrészgyártási információk) adatokat is, amik például megadják, hogy egy adott, névleges méretre modellezett furat milyen tűréssel rendelkezik, és hol van a tűrésmező középe, amire a programozást végeznünk kel. Csak ezen adatok segítségével valósítható meg az automatikus programozás és a papírnélküli gyártás.

A hatékonyság növelése céljából a CAM rendszerek folyamatosan törekszenek az elérhető hardverlehetőségek kihasználásában. Így a fejlesztések központi területe a 64 bites szoftverkörnyezet és a többszörös számítási lehetőségek kihasználása, ami sokszor nem egyszerű az egymásra épülő műveletelemek miatt, amelyeknek figyelembe kell vennie a korábbi műveletelemek eredményét is.

Ebben a fejezetben a fenti megmunkálásokra nézünk meg egy-egy példát, különös hangsúlyt fektetve a manuális programozásra, ami a legnagyobb technológiai és programozás-technikai szaktudást igényli a programozótól.

A mobil eszközök egyre szélesebb körű elterjedése, és a felhő alapú technológiák terjesztése a CAM fejlesztések irányvonalán is érezteti hatását. A fejlesztési törekvések az Edgcam fejlesztésében egyértelműen azt célozzák, hogy az egyszerűbb alkatrészek programozásához ne keljen a programozónak PC-vel rendelkeznie, hanem bármilyen böngészővel rendelkező eszközön, ami lehet mobil eszköz vagy akár egy szerszámgép vezérlője, a böngészőn keresztül tudjon alapvető programozási feladatokat vagy szimulációt végezni a cég központi szervergépére telepített Edgcam segítségével, mintegy lokális felhőként üzemeltetve az Edgcam-et.

A fentiekből látszik, hogy a CAM technológia napjainkban is folyamatosan fejlődik, és fejlődésére mind az iparág résztvevői, mind a gazdasági- és informatikai környezet jelentős hatással vannak, egyértelműen meghatározva a technológiai és a hatékonysági fejlesztések irányvonalát.



FELHASZNÁLT SZAKIRODALOM

- [1] Esztergagépek fejlődéstörténete, elérési út: <http://www.stuartking.co.uk>, letöltés dátuma: 2015. február 15.
- [2] A szerszámgépgyártás története, elérési út: www.szerszamepgyartas.hu, letöltés dátuma: 2015. február 15.
- [3] <http://www.hurco.com>, letöltés dátuma: 2015. március 20.
- [4] FARKAS Zsolt: Integrált CAD rendszerek, Egyetemi jegyzet, BME, Gép- és Terméktervezés Tanszék, 2010.
- [5] <http://www.deskeng.com/de/electrical-cad-system-enhances-manufacturing-support/>, letöltés dátuma: 2015. március 12.
- [6] <https://www.comsol.com/comsol-multiphysics>, letöltés dátuma: 2015. február 20.
- [7] <http://www.designyourway.net/blog/inspiration/3d/beautiful-3d-concept-cars/>, letöltés dátuma: 2015. március 12.
- [8] http://www.deskeng.com/virtual_desktop/?p=8315, letöltés dátuma: 2015. március 2.
- [9] HALBITTER E., TISZA M., BALOGH, G.: Képlékenyalakító technológiák számítógépes tervezése, Szakmérnöki jegyzet, Miskolci Egyetem, 2006. p. 1-246.
- [10] SZABÓ László: Forgácsolás, hegesztés, Miskolc, 2000, elérési út: <http://www.uni-miskolc.hu/~wwwfemsz/forgacs.htm>, letöltés dátuma: 2015. február 15.
- [11] ECSERI István: A gépi forgácsolás alapfogalmai, elérési út: www.gepipariklaszter.hu, letöltés dátuma: 2015. március 9.
- [12] FLEDRICH Gellért: Cirkónium-dioxid kerámiák esztergálása, Doktori értekezés, Szent István Egyetem, Gödöllő, 2011.
- [13] DUDÁS Illés: Gépgyártástechnológia I. A gépgyártástechnológia alapjai. Budapest: Műszaki Könyvkiadó, 2004. - ISBN 963-16-4030-2
- [14] BÁLINT Lajos: A forgácsoló megmunkálás tervezése. Budapest: Műszaki Könyvkiadó, 1967., p. 860.
- [15] BODZÁS Sándor: Gyártástechnológia I. Egyetemi Előadásanyag, IV-V. Előadás, Debreceni Egyetem Műszaki Kar, 2014.
- [16] DUDÁS I.: Gépgyártástechnológia II. Forgácsoláselmélet, technológiai tervezés alapjai. Miskolc: Miskolci Egyetemi Kiadó, 2001.-ISBN 963 661 478 4784
- [17] FRIDRIK László: Forgácsolás I. (Forgácsoláselmélet). Miskolc: Miskolci Egyetemi Kiadó, 2011, p. 205.
- [18] GYÁNI Károly: Gépgyártástechnológia alapjai I. Budapest, Tankönyvkiadó, 1980, p. 128.
- [19] HORVÁTH Mátyás, MARKOS Sándor: Gépgyártástechnológia. Budapest: Műegyetemi Kiadó, 1998, p. 513.



- [20] KOZMA Ferenc: Fémforgácsoló szerszámok. Debrecen: Kossuth Lajos Tudományegyetem, Műszaki Főiskolai Kara, Debrecen, 1995.
- [21] KOZMA Ferenc: Forgácsoláselmélet. Debrecen: Kossuth Lajos Tudományegyetem, Műszaki Főiskolai Kara, Debrecen, 1995.
- [22] DUCSAI János: Forgácsolási eljárások. Budapest: Tankönyvmester Kiadó, 2008.- ISBN 978 963 275 0378
- [23] FRISCHHERZ Adolf (et al.): Fémtechnológiai táblázatok. Budapest: B + V Lap- és Könyvkiadó Kft., 2010. -ISBN 963 811 4112, p. 265.
- [24] BEDE István: Finommechanika és technológia II. Budapest: Tankönyvkiadó, 1966.
- [25] AMBRUSNÉ Dr. Alady Márta (et al.): Gyártási eljárások. Budapest: Műszaki Könyvkiadó, 1999. -ISBN 963 161 6415
- [26] GARANT Hoffmann Group: Forgácsolási kézikönyv, elérési út: <https://www.hoffmann-group.com/HU/hu/hohu/service/downloads>, letöltés dátuma: 2015. március 28.
- [27] <http://www.scribd.com/doc/248167337/20110128101307-542420#scribd>, letöltés dátuma: 2015. március 29.
- [28] <http://www.mercedes.de>
- [29] MÁTYÁSI Gyula, SÁGI György: Számítógéppel támogatott technológiák, Budapest: Műszaki Könyvkiadó, 2007.
- [30] http://www.gyartastrend.hu/cad_cam_plm/cikk/kapcsolt-analيزis-mechanikai-es-magneses-jelenseg-egyuettes-vizsgalata, letöltés dátuma: 2015. március 10.
- [31] BALOGH G., TISZA M., An intelligent gateway between cad modelling and fem simulation in sheet metal forming – Slovenian-Hungarian mini symposium 2007, University of Miskolc
- [32] <http://www.edgecam.hu>
- [33] Vero Software Ltd.: Edgecam kezdőlépések, (magyar nyelvű verzió: Enterprise Communications Magyarország Kft.), 2013.
- [34] Vero Software Ltd.: Edgecam Testmégmunkálás - Marás, (magyar nyelvű verzió: Enterprise Communications Magyarország Kft.), 2013.
- [35] Vero Software Ltd.: Edgecam Tervezés Felhasználói segédlet, (magyar nyelvű verzió: Enterprise Communications Magyarország Kft.), 2013.
- [36] Vero Software Ltd.: Edgecam Megmunkálás Felhasználói segédlet, (magyar nyelvű verzió: Enterprise Communications Magyarország Kft.), 2013.
- [37] Vero Software Ltd.: Edgecam Essential Turning V2015 R1 Rev 3.0, 2014.
- [38] Vero Software Ltd.: Edgecam Essential Milling V2015 R1 Rev 4.0, 2015.
- [39] Vero Software Ltd.: Edgecam Standard Milling Cycles V2015 R2 Rev 1.0, 2015.
- [40] Vero Software Ltd.: Edgecam Advanced Milling License V2015 R2 Rev 4.0, 2015.