



I.

FORGÁCSOLÁSTECHNOLÓGIAI ALAPOK

**BUDAPEST
2006**

Szerző: **Dr. Kodácsy János**

Műszaki szerkesztő: Kernács Norbert

A tananyag összeállításában részt vettek a Kecskeméti Főiskola GAMF Kara
Gépgyártástechnológia Tanszékének dolgozói

Készült
az Oktopus IOR-00010/2004 pályázat
támogatásával

TARTALOMJEGYZÉK

1. A GÉPIPARI VÁLLALAT ÉS TEVÉKENYSÉGI RENDSZERE	3
1.1. Általános jellemzők.....	3
1.2. A vállalati tevékenységi rendszer modellje	4
1.3. A vállalat szervezete.....	5
1.4. A vállalati tevékenység számítógépes támogatása	7
2. A GÉPIPARI VÁLLALAT GYÁRTÁSI ÉS TECHNOLÓGIAI FOLYAMATAI	12
2.1. A gyártási folyamat.....	12
2.2. A technológiai folyamat	12
3. A GÉPIPARI TECHNOLÓGIÁK RENDSZERE ÉS PONTOSSÁGA.....	15
3.1. A gépipari technológiák rendszere.....	15
3.2. A gépipari technológiák pontossága	16
3.2.1. A megmunkálások makrogeometriai jellemzői.....	17
3.2.2. A megmunkálások mikrogeometriai jellemzői.....	22
3.2.3. Számítási példák	28
4. FORGÁCSOLÁS.....	31
4.1. Esztergálás	31
4.1.1. Technológiai alapok	32
4.1.2. Alkalmazási terület	41
4.1.3. Szerszámanyagok és szerszámkonstrukciók	42
4.1.4. Technológiai körülmények.....	47
4.1.5. A gépi főidő	48
4.1.6. Számítási példák	49
4.2. Fúrás	50
4.2.1. Technológiai alapok	50
4.2.2. Alkalmazási terület	54
4.2.3. Szerszámanyagok és szerszámkonstrukciók	55
4.2.4. Technológiai ajánlások	57
4.2.5. A gépi főidő számítása.....	57
4.2.6. Számítási példa	58
4.3. Marás.....	59
4.3.1. Technológiai alapok	59
4.3.2. Alkalmazási terület	68
4.3.3. Szerszámkonstrukció és szerszámanyag	69
4.3.4. A gépi főidő	70
4.3.5. Számítási példák	71
IRODALOMJEGYZÉK	75

1. A GÉPIPARI VÁLLALAT ÉS TEVÉKENYSÉGI RENDSZERE

Az ipari vállalat a nemzetgazdaság meghatározó eleme. Olyan termelő egység, amely optimális esetben az éppen fennálló és fizetőképes keresletnek megfelelő termékeket gyárt és értékesít.

A gépipari vállalat a vállalatok körén belül gépipari termékek (pl.: gépi berendezések, közlekedési eszközök, fém tömegcikk) előállításával foglalkozik.



Egy gépipari vállalat bemutatása
(001.wmv)

Forrás: ACTECH GmbH.

<http://www.rapidcasting.com>

A vállalat profilja:

Bonyolult öntvények, alkatrészek gyors készítése, kis darabszámban.

Részlegek:

Gyártmánytervezés (CAD), *földszint*

Öntőminta készítés CNC gépeken, *földszint*

Szelektív lézeres szinterezés (SLS), *földszint*

Hagyományos öntőforma készítés, *I. em.*

Öntőforma szerelés, *I. em.*

Öntőde, *I. em.*

CNC marás, *alagsor*

Anyagvizsgáló, *alagsor*

Hőkezelő, *alagsor*

Hosszmérő labor (3D), *földszint*

Értékesítés, *földszint*

Termelésirányítás (Proj. Men.), *I. em.*

Gyártásfejlesztés, *II. em.*

1.1. Általános jellemzők

A gépipari vállalat általános jellemzői:

- a vállalat nagysága,
- a termékösszetétel,
- a belső rendszer.

A *vállalat nagysága* (VN) a termelési érték (K), az állóeszköz-érték (M) és az állományi létszám (N) szorzatával jellemezhető:

$$VN = K \cdot M \cdot N$$

(1.1.1.)

A *termékösszetétel*t a gyártási profil (pl.: acélszerkezeti), az aktuális termékválaszték (pl.: hidroglóbuszok, acéltartályok, nagy átmérőjű acélcsövek), a rendelésállomány és a gyártási kapacitás aránya határozza meg.

A *vállalat belső rendszerét* az adminisztratív és termelő egységek térbeli elhelyezkedése, az anyag- és információáramlás technikai színvonala, valamint a szervezeti felépítés (alá-, főlé- és mellérendeltségi viszonyok) reprezentálják.



1.2. A vállalati tevékenységi rendszer modellje

A gépipari vállalat részegységeinek tevékenysége – rendszert alkotva – úgy kapcsolódik egymáshoz, hogy a rendszerbe bekerülő nyersanyagokból és félkész termékekből készterméket, használati értékkel is rendelkező gyártmányt állítsanak elő. A termék előállítási folyamatát – az adatok és anyagok áramlását, feldolgozását – értékáramlás és értékfeldolgozás kíséri. A kis értékű nyersanyagból az előre megadott gyártási adatok és utasítások alapján nagyobb értékű késztermék lesz.

A vállalati tevékenység szakmai szempontból négy csoportba sorolható:

- vezetési tevékenység,
- gazdasági tevékenység,
- kereskedelmi, irányítási és műszaki tevékenység (termelésstervezés, gyártmánytervezés és gyártás-előkészítés),
- anyagfeldolgozás (gyártás).

A *vezetési tevékenység* – más néven a *vállalatirányítás* – feladata a működési összhang fenntartása gazdálkodási, kereskedelmi és műszaki téren egyaránt.

A *gazdasági tevékenység* az értéktranszformáció, a kiadási és bevételi oldal felügyeletére és irányítására hivatott.

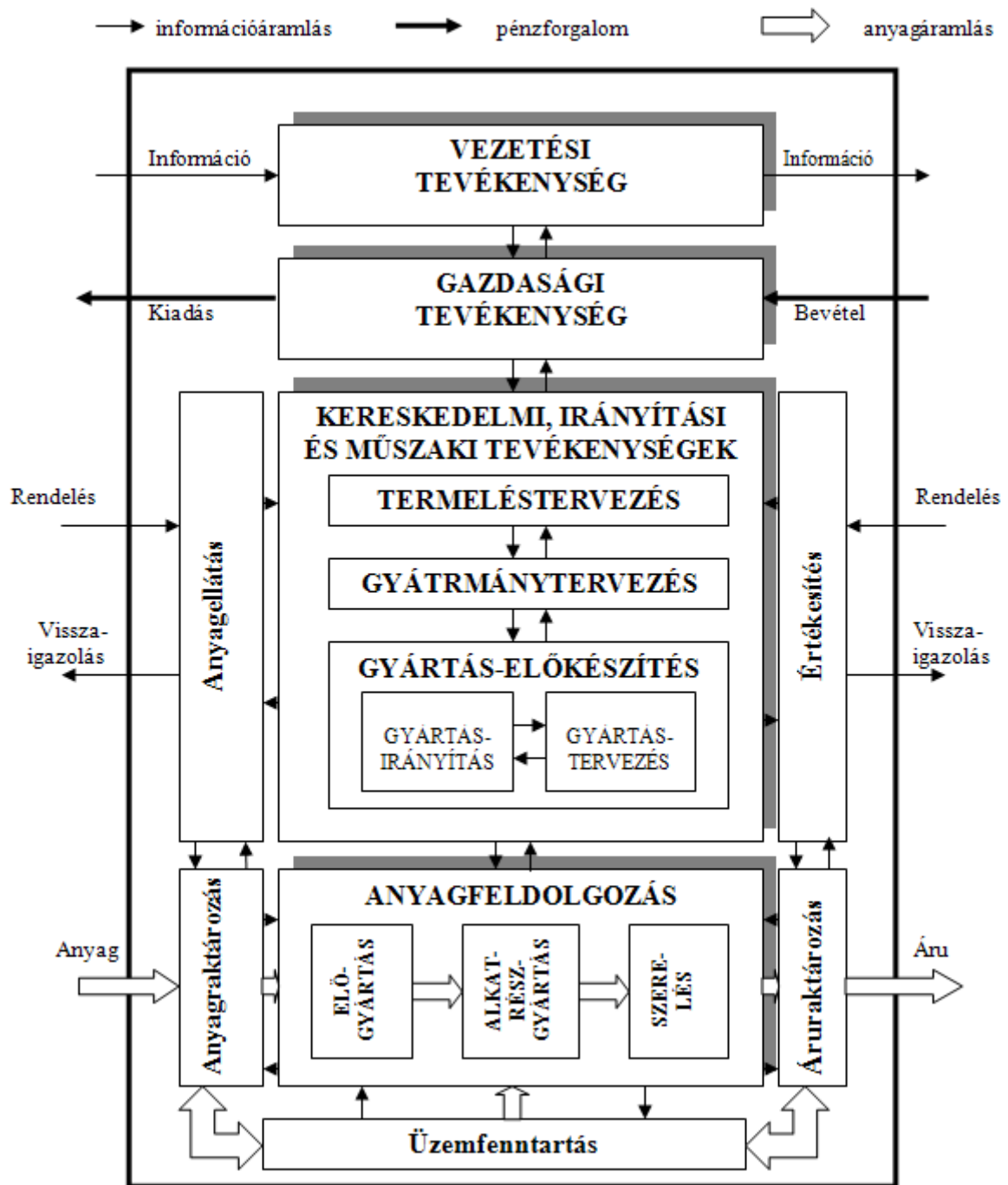
A *kereskedelmi, irányítási és műszaki tevékenységek* azok, amelyek egyebek közt a mit, mennyit és meddig (piackutatás, termelésstervezés), a mit és miből (gyártmánytervezés), a mivel és hogyan (gyártásstervezés), valamint a hol, mikor és mennyit (gyártásirányítás) kérdésekre adnak választ.

Az *anyagfeldolgozás* során, a gyártás-előkészítés információi alapján valósul meg az előgyártás, az alkatrészgyártás és a gyártmányok szerelése.

Az 1.2.1. ábra blokksémája szemlélteti az információ-, a pénz-, valamint az anyagáramlás irányát, ezen keresztül a tevékenységek kapcsolatrendszerét.

Észrevehető, hogy a kereskedelmi, irányítási és műszaki tevékenységeket az anyagellátás és az értékesítés, míg az anyagfeldolgozást az anyagraktározás és az áruktározás egészíti ki.

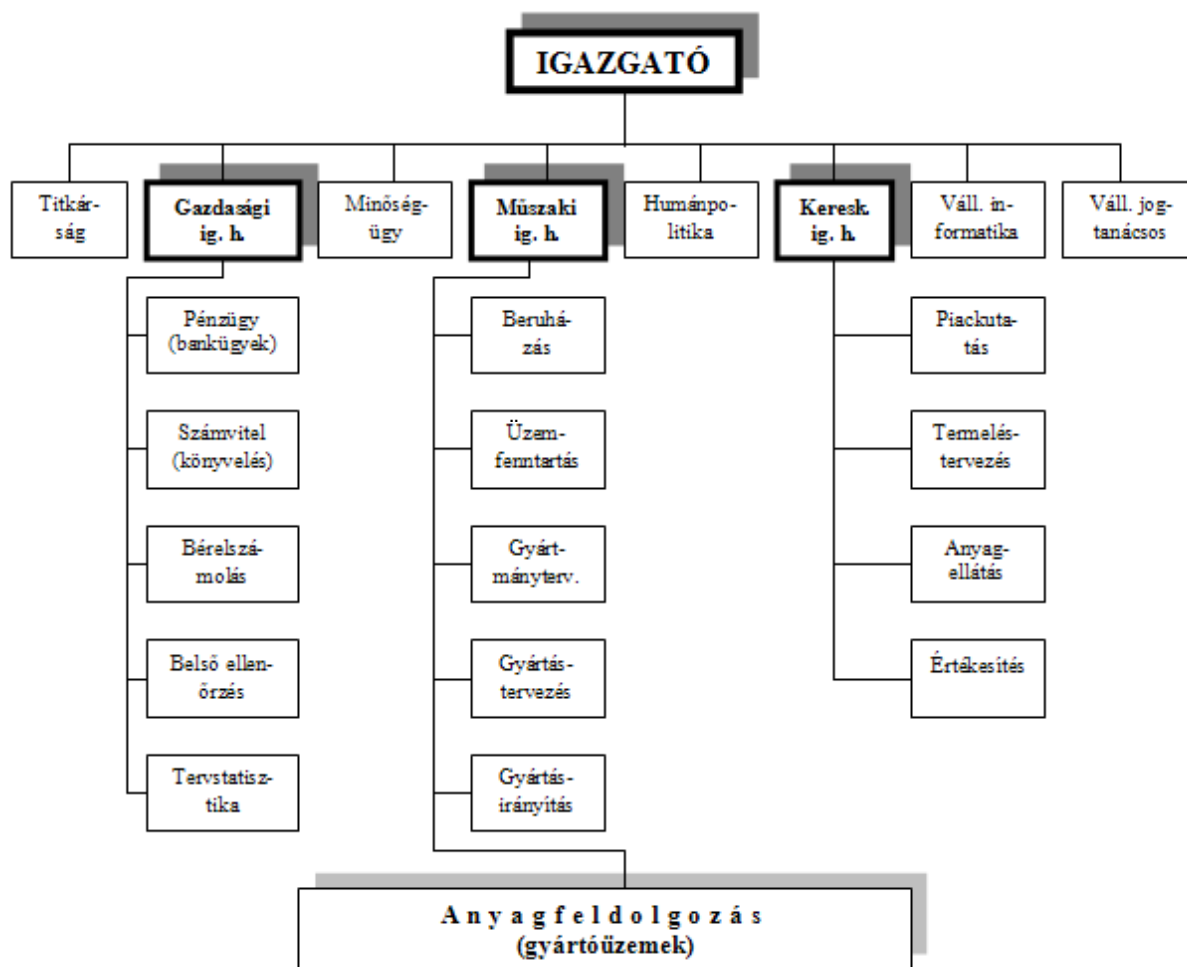
	1. A GÉPIPARI VÁLLALAT ÉS TEVÉKENYSÉGI RENDSZRE	Copyright© 2006 v1.00.20060310
	I. FORGÁCSOLÁSTECHNOLÓGIAI ALAPOK	4. oldal



1.2.1. ábra.
A gépipari vállalat tevékenységi rendszere

1.3. A vállalat szervezete

A vállalati tevékenységeket – munkamegosztásban – szervezeti egységek látják el. Ezek általában úgy kapcsolódnak egymáshoz, hogy érvényesüljön a személyi felelősség elve (1.3.1. ábra).



1.3.1. ábra.

Egy gépipari vállalat lehetséges szervezeti felépítése az osztályok, illetve üzemek szintjéig lebontva

Az ábra szerint a vezetés legfelső szintjén a vállalat elsőszámú vezetője, az igazgató áll. Felelős a vállalat teljes tevékenységi rendszerének zavartalan működéséért. Közvetlen irányítása alatt áll: a titkárság, a minőségügyi osztály, a humánpolitikai osztály, a vállalati informatikai osztály vezetője és a vállalati jogtanácsos, valamint a gazdasági, a kereskedelmi és a műszaki igazgatóhelyettes. Az igazgatóhelyettesek további osztályokat felügyelnek, illetve a műszaki igazgatóhelyetteshez tartoznak a gyártóüzemek is.

A *kereskedelmi igazgató* vezetése alatt működő *termelés-tervező részleg* (osztály) feladata a vállalati szintű termelés-tervezés: a rendelésállomány nyilvántartása, a kapacitás felmérése és nyilvántartása, a szállítókészség tervezése, az anyagbiztosítás tervezése, a nagyvonalú termelésprogramozás és -ütemezés.

A gyártás közvetlen, üzemi szintű előkészítését szervezési szempontból a *gyártásirányítási*, műszaki szempontból a *gyártás-tervezési részleg* végzi.

A *gyártásirányítás* valamennyi olyan intézkedésre kiterjed, amely a rendelés átfutásához a termelési tervnek megfelelően szükséges. A gyártásirányítás részterületei: a gyártás finomprogramozása, a gépterhelés meghatározása, a kapacitás kiegyenlítése, a nyersanyag-, a gyártóeszköz- és gyártási információellátás.

A gyártástervezés olyan termelést segítő tevékenység, amely a gyártmány gyártáshelyes és minimális költséggel járó előállítását biztosítja. A gyártástervezés részterületei: gyártási folyamattervezés, művelettervezés, anyagnormázás, időnormázás, költségkalkuláció, gyártó-eszköz-tervezés, gyártóeszköz-karbantartás és raktározás, gyártásfejlesztés.

1.4. A vállalati tevékenység számítógépes támogatása

Ma már általánosnak tekinthető, hogy a vállalatok tevékenységét szinte minden területen korszerű számítógépes programok és rendszerek támogatják. Az 1.4.1. ábra egy számítógép segítségével irányított vállalat struktúráját szemlélteti.

Az ábrán használt rövidítések értelmezése és a további tagozódások:

- **MIS** Management Information System (menedzseri információs rendszer)
- **CAD** Computer Aided Design (számítógéppel segített gyártmánytervezés)
 - o CAD 1 Funkcionális tervezés
RE Reverse Engineering (kész gyártmányok rekonstruálása, módosítása)
 - o CAD 2 Mechanikai tervezés
CAE Computer Aided Engineering (számítógéppel segített mérnöki számítás)
FEM Finite Element Method (végelemek-módszer)
 - o CAD 3 Konstrukszerkesztés
SE Simultaneous Engineering (több változat egyidejű tervezése)
RP Rapid Prototyping (gyors prototípusgyártás)
- **CAPP** Computer Aided Process Planning (számítógéppel segített gyártási folyamat-tervezés)
 - o CAPP 1 Szereléstervezés
 - o CAPP 2 Alkatrészgyártás-tervezés
Általános művelettervezés
NCP Numerical Control Programming (NC-programozás)
Gyártóeszköz-tervezés és -kiválasztás
Normaidő- és költségkalkuláció
- **PPS** Production Planning System (termelés-tervezés)
 - o PPS 1 Szállítókésztség-tervezés
 - o PPS 2 Anyagbiztosítás-tervezés (MRP Materials Requirement Planning)
 - o PPS 3 Kapacitásfelmérés, termelésprogramozás és ütemezés
- **CAST** Computer Aided Storage and Transport (számítógéppel segített raktározás és szállítás)
- **CAM** Computer Aided Machining (számítógéppel segített gyártás)
 - o CAPC Computer Aided Process Control (számítógéppel segített üzemirányítás: művezetői kommunikáció- és döntéstámogatás, valós idejű termelésirányítás, a gyártási folyamatok dokumentálása)
 - o DNC Direct Numerical Control (közvetlen számjegyzvezérlés: NC-programok tárolása, kezelése és tér-, valamint időbeni szétosztása az üzemi gyártási programnak megfelelően)
 - o SDC Shop floor Data Collection (üzemi adatgyűjtés)
 - o TMS Tool Management System (üzemi szerszámgazdálkodási rendszer)

	1. A GÉPIPARI VÁLLALAT ÉS TEVÉKENYSÉGI RENDSZRE	Copyright© 2006 v1.00.20060310
	I. FORGÁCSOLÁSTECHNOLÓGIAI ALAPOK	7. oldal

- o CC Cell Control (gyártócella-irányítás)
- o FMSC Flexible Manufacturing System Control (rugalmas gyártórendszer- irányítás)
- o FASC Flexible Assembling System Control (rugalmas szerelőrendszer- irányítás)
- o MDS Monitoring Diagnostics System (felügyeleti és diagnosztikai rendszer)
- **CAQA** Computer Aided Quality Assurance (számítógéppel segített minőség-biztosítás)
 - o QP Quality Planning (minőségtervezés)
 - o SPC Statistical Process Control (statisztikai folyamatszabályozás)
 - o FMEA Failure Mode and Effect Analysis (hibalehetőség és hatáselemzés)
- **PROCESS** (az anyagfeldolgozás technológiai folyamata: a gyártási folyamatnak a gyártás tárgyához közvetlenül kapcsolódó része)
 - o PLC Programmed Logic Controller (programozott logikai vezérlő, elsősorban célgépekhez)
 - o CNC Computerized Numerical Control (számítógépes számjegyvezérlés, első-sorban szerszámgépekhez)
 - o ROC Robot Control (robotirányítás)
 - o MMC Measuring Machine Control (mérőgépvezérlés)
 - o CPC Computerized Process Control (számítógépes technológiai folyamat-irányítás)
- **CIM** Computer Integrated Manufacturing (számítógéppel segített gyártás)

A **CIM** – a jelen értelmezés szerint – a tervezéshez és a termeléshez kapcsolódó vállalati funkciók integrált együttese. A funkciók egyes folyamatait számítógép támogatja. Az 1.4.1. ábrán bejelölt információáramok azt szemléltetik, hogy a különböző egységek a helyi, vállalati hálózaton (*Local Area Network, LAN*) keresztül folyamatos kapcsolatot tartanak egymással.

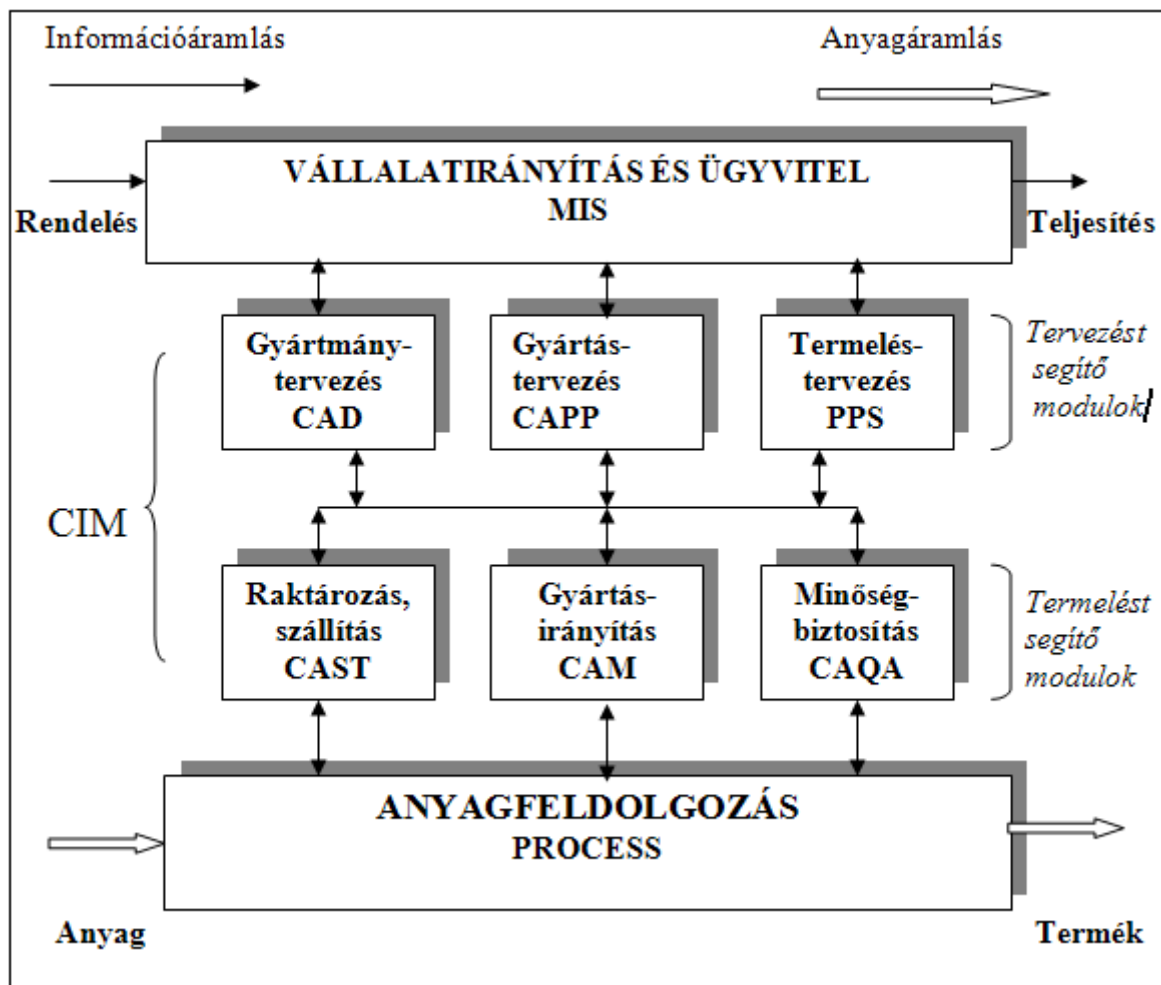
A **CIM**-en belül a **CAD**, a **CAPP** és a **PPS** a tervezést segítő modulok, míg a **CAST**, a **CAM** és a **CAQA** a gyártás operatív szintjéhez kapcsolódik.

A **PROCESS** szintjén, a gyártóüzemben elhelyezkedő rugalmas gyártórendszer (*FMS*) kialakítására mutat példát az 1.4.2. ábra. A rendszer *CNC*-vezérlésű szerszámgépekből, mérőgépéből, robotkocsiból, a munkadarabot rögzítő palettákból, palettacserélőkből és raktárból áll.

A gyártási folyamatot a **CAM**-hez tartozó *FMSC* hangolja össze, a *CNC*- programokat időben és térben a *DNC*-egység osztja szét. A robotkocsi és a mérőgép közvetlen irányítását a *ROC*, illetve az *MMC* látja el.

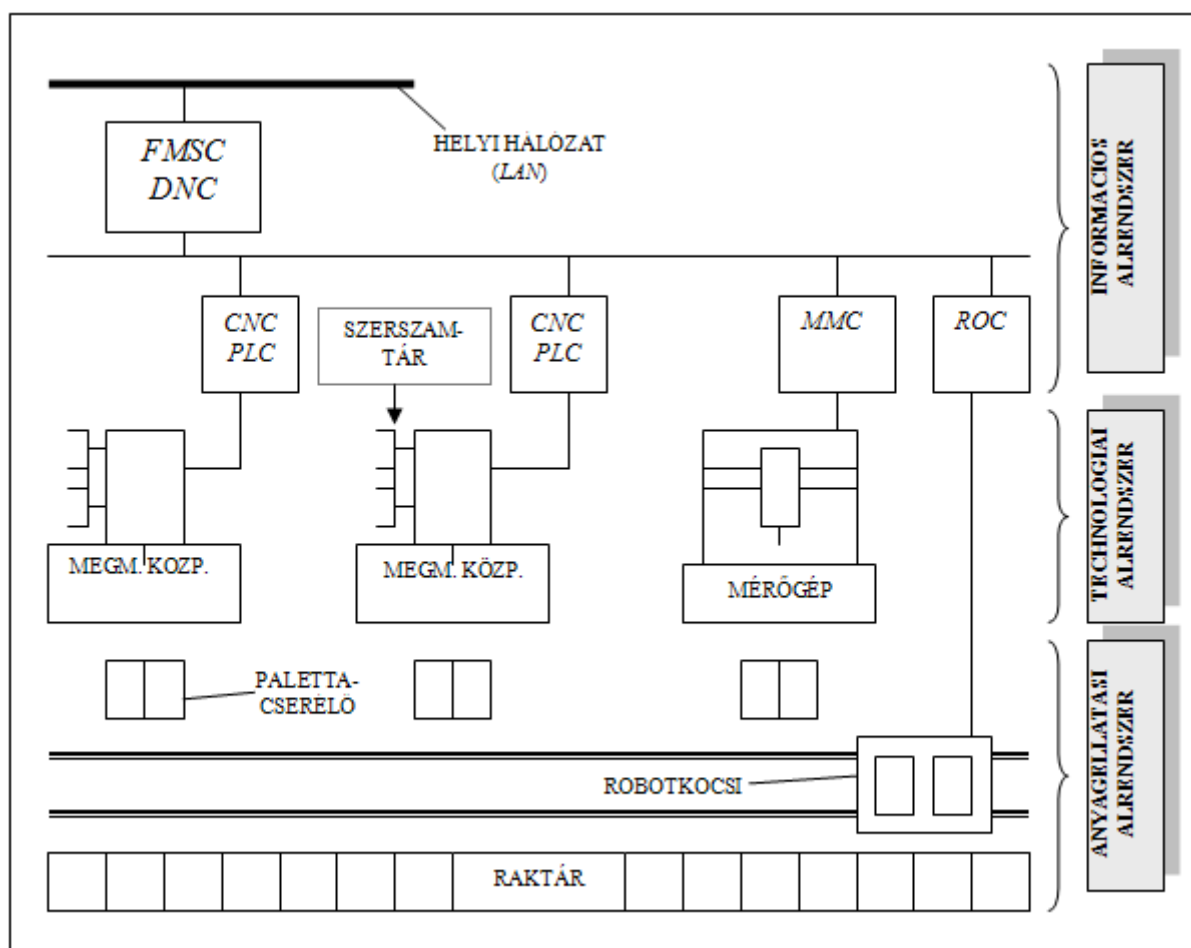
Az anyagalakítás (alkatrészgyártás) és az ehhez kapcsolódó méretellenőrzés a technológiai alrendszerben történik, míg az anyagellátást itt a raktárral és palettacserélővel kiegészített robotkocsi oldja meg. Az információáramlást a helyi hálózat (*LAN*) biztosítja.

	1. A GÉIPARI VÁLLALAT ÉS TEVÉKENYSÉGI RENDSZRE	Copyright© 2006 v1.00.20060310
	I. FORGÁCSOLÁSTECHNOLÓGIAI ALAPOK	8. oldal

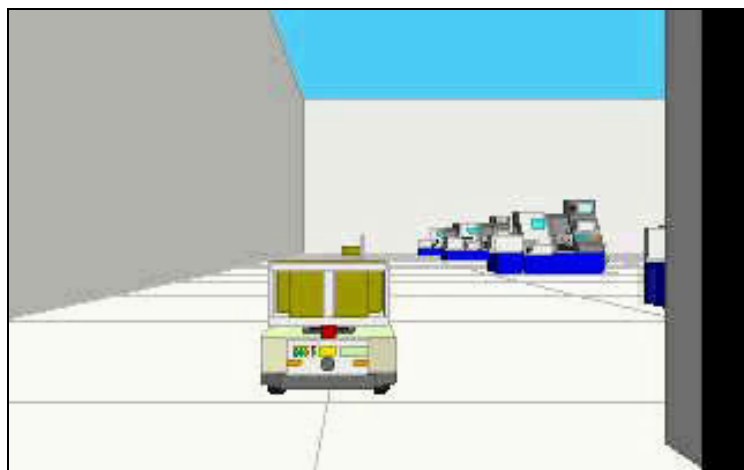


1.4.1. ábra.
Számítógép segítségével irányított vállalat struktúrája

Az automatizált gyártórendszer nem működhet jól megszervezett szerszámellátás (*TMS*) nélkül. A korszerű *TMS* moduláris felépítésű, melyben az első állomás a szerszámtervezés, illetve a szerszám kiválasztás. Az innen kapott információk alapján működik a szerszám-előkészítő munkahely. A szerszámraktárakból kivett elemekből itt történik meg a szerszámok összeszerelése, beállítása és bemérése, amelyek aztán a szerszámgép szerszámtárába kerülnek. A szerszámtárat *PLC* vezérlésű manipulátorok töltik fel, és a kódolt szerszámok automatikus azonosítását a szerszámkódot olvasó/író egység oldja meg.



1.4.2. ábra.
Egy rugalmas gyártórendszer (FMS) vázlata



Forgácsoló FMS animációja
(002.wmv)

Forrás: Wakayama Univ. Faculty of Systems Engineering
<http://www.sys.wakayama-u.ac.jp>

Az animáció célja:

Egy telepítés előtt álló, rugalmas alkatrészgyártó-rendszer bemutatása.

A rendszer tervezett funkciója:

Alkatrészgyártás rendszerbe szervezett CNC szerszámgépeken.



Szerelő FMS működése
(003.wmv)

Forrás: MS AUTOTECH CO., LTD. (Korea)
<http://www.msautotech.com>

A videofelvétel célja:

A videofelvétel egy szerelő, rugalmas gyártórendszert mutat be.

A rendszer funkciója

Személygépkocsi számítógéppel tervezett és irányított szerelése.

Ellenőrző kérdések:

1. Hogyan jellemezhető egy gépipari vállalat nagysága?
2. Ismertesse a gépipari vállalat tevékenységi rendszerét blokkvázlattal!
3. Hogyan kapcsolhatók a szervezeti egységek a vállalati tevékenységi rendszerhez?
4. Milyen lehetőségeket ismer a vállalati tevékenység számítógépesítésére?
5. Vázoljon és elemezzen egy rugalmas gyártórendszert!

	1. A GÉPIPARI VÁLLALAT ÉS TEVÉKENYSÉGI RENDSZRE	Copyright© 2006 v1.00.20060310
	I. FORGÁCSOLÁSTECHNOLÓGIAI ALAPOK	11. oldal

2. A GÉPIPARI VÁLLALAT GYÁRTÁSI ÉS TECHNOLÓGIAI FOLYAMATAI

A gépipari vállalat tevékenysége (VT) arra irányul, hogy a vevő igényeit maximálisan kielégítő termékeket állítson elő. Ehhez természetesen szükség van valamennyi szervezeti egység hatékony, összehangolt együttműködésére, annak ellenére, hogy a termék tényleges előállítása csupán a gyártási folyamat, és ezen belül a technológiai folyamatok feladata.

2.1. A gyártási folyamat

A gyártási folyamat (GYF) azon anyagi és szellemi tevékenységek célszerűen rendezett összessége, amelyek eredménye, hogy a nyersanyagokból és félkész termékekből késztermék lesz.

A gyártási folyamat összetevői:

- a) a gyártás gazdasági, műszaki, szervezési, irányítási előkészítése és kiszolgálása,
- b) a nyersanyagok, félkész termékek, segédanyagok beszerzése, ellenőrzése, üzemen belüli szállítása és raktározása,
- c) előgyártás (öntés, kovácsolás, hengerlés stb.), műszaki ellenőrzés,
- d) az előgyártmányok üzemen belüli szállítása, raktározása,
- e) alkatrészgyártás (forgácsolás, hőkezelés stb.), műszaki ellenőrzés,
- f) az alkatrészek üzemen belüli szállítása, raktározása,
- g) szerelés (részegység- és végszerelés), ellenőrzés, próba, minősítés, műszaki átadás,
- h) a részegységek vagy gyártmányok konzerválása, csomagolása, tárolása, kiszállításra való előkészítése,
- i) a hulladékok kezelése, értékesítése, megsemmisítése.

A gyártási folyamat a vállalati tevékenységi rendszer része:

VT $\supset$ GYF

(2.1.1.)

2.2. A technológiai folyamat

A technológiai folyamat (TF) azokat a gyártás tárgyához közvetlenül kapcsolódó tudati és anyagi tevékenységeket foglalja magába, melyek fizikai, kémiai, geometriai állapotváltozást eredményeznek. A (GYF) elemei közül a c), az e) és a g) pontokban felsoroltak tartoznak ide. Ennek megfelelően beszélhetünk az előgyártás, az alkatrészgyártás és a szerelés technológiai folyamatáról.

A technológiai folyamat tovább bontható műveletre, műveletelemre és mozdulatra.

A művelet (MŰV) a TF része, amelyre az jellemző, hogy azt egy munkahelyen, egy vagy több munkadarabon (gyártmányon), meghatározott eszközök felhasználásával, egyidejűleg, megszakítás nélkül egy vagy több munkás végezi. Ez forgácsoláskor legtöbb esetben az egy munkadarab-felfogásban elvégzett tevékenységet jelenti.

 OKTOPUS	2. A GÉPIPARI VÁLLALAT GYÁRTÁSI ÉS TECHNOLÓGIAI FOLYAMATAI	Copyright© 2006 v1.00.20060310
	I. FORGÁCSOLÁSTECHNOLÓGIAI ALAPOK	12. oldal

A *műveletelem (MŰVE)* a műveletnek az a része, amelyet a művelettervezés során még külön kezelünk, és amelynek eredménye jól megfogalmazható. Megkülönböztetünk fő és mellék műveletelemeket.

A fő műveletelem eredménye valamilyen tulajdonságváltozás (méret-, alak-és helyzetváltozás, érdességcsökkenés, keménységnövekedés, hegesztett kötés létrejötte stb.), míg a mellék műveletelem a fő műveletelem végrehajthatóságát biztosítja (munkadarab-befogás, hőkezelő kemence felfűtése, hegesztőelektróda befogása stb.).

A *mozdulat (MOZD)* a *TF* elemi része, tartozhat a fő vagy a mellék műveletelemhez (forgácsleválasztás, hevítés hőkezelő kemencében, ívhegesztés vagy a munkadarab rögzítése tokmányban, a hőkezelő kemence bekapcsolása, a hegesztőelektróda kivétele a dobozból stb.). Az automatizált gyártásban (CNC- és PLC-programok készítésekor) a *TF*-et a mozdulatok szintjéig kell megtervezni.

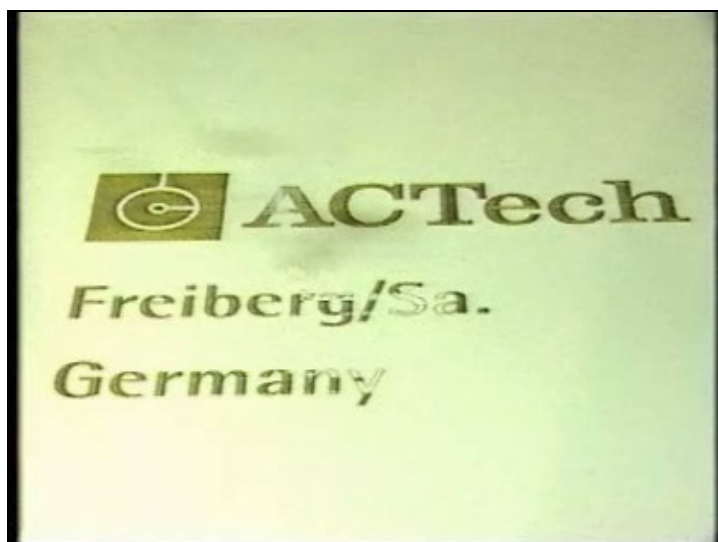
A technológiai folyamat tehát műveletekből, műveletelemekből és mozdulatokból épül fel:

TF $\supset$ MŰV $\supset$ MŰVE $\supset$ MOZD

(2.2.1.)

Példák a gyártási és a technológiai folyamatra

Gyártási folyamat



Előgyártás (öntés) és forgácsolás gyártási folyamata
(004.wmv)

Forrás: ACTECH GmbH.
<http://www.rapidcasting.com>

A videofelvétel célja:

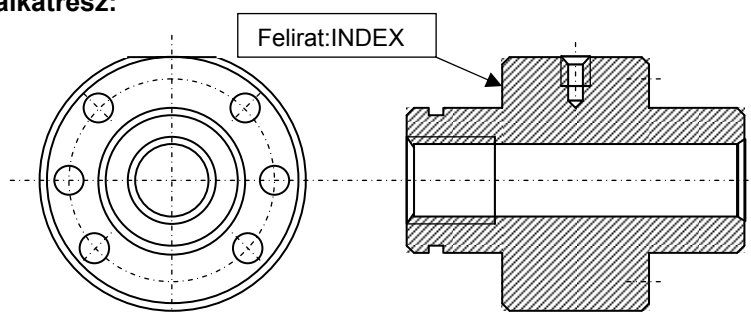
Az 1. fejezetben bemutatott vállalatnál megvalósítható gyártási folyamat bemutatása.

A gyártási folyamat leírása:

1. A rendelés beérkezése
2. Az e-mailen elküldött öntvényrajz fogadása
3. A gyártás időbeni programozása
4. Az öntőforma megtervezése
5. Az öntőforma alsó és felső részének gyártástervezése és gyártása CNC szerszámgépen
6. A magminta geometriájának megtervezése
7. A magminta legyártása SLS (Selective Laser Sintering) rendszerű gyors prototípusgyártó berendezésen
8. A magminta hőkezelése
9. A magminta formába helyezése, az öntőforma összeszerelése
10. Öntés
11. Az öntvény kiszabadítása a formából, a felesleges részek eltávolítása
12. Készre munkálás forgácsolással

	2. A GÉPIPARI VÁLLALAT GYÁRTÁSI ÉS TECHNOLÓGIAI FOLYAMATAI	Copyright© 2006 v1.00.20060310
	I. FORGÁCSOLÁSTECHNOLÓGIAI ALAPOK	13. oldal

A legyártandó alkatrész:



Műveleti sorrend:

I. Forgácsol az egyik oldalon

1. Munkadarabot befog
2. Fúr + élt letör
3. Nagyoló esztergál
4. Simító esztergál
5. Fúr homlokfelületen
6. Mar
7. Fúr menet alá
8. Furatot süllyeszt
9. Menetet fúr
10. Munkadarabot átfog
11. Leszúr

II. Forgácsol a másik oldalon

1. Második tokmányt alaphelyzetbe hoz
2. Központos
3. Nagyoló esztergál
4. Beszúr
5. Simító esztergál
6. Beszúrást bővít
7. Fúr menet alá
8. Furatot süllyeszt
9. Menetet fúr
10. Mart felületet letör
11. Feliratoz
12. Munkadarabot kifog

Megjegyzés:

A római számok a műveleteket, az arab számok a műveletelemeket jelölik.



Az alkatrészgyártás technológiai folyamata
(005.wmv)

Forrás: INDEX

<http://www.index-werke.de>

Ellenőrző kérdések:

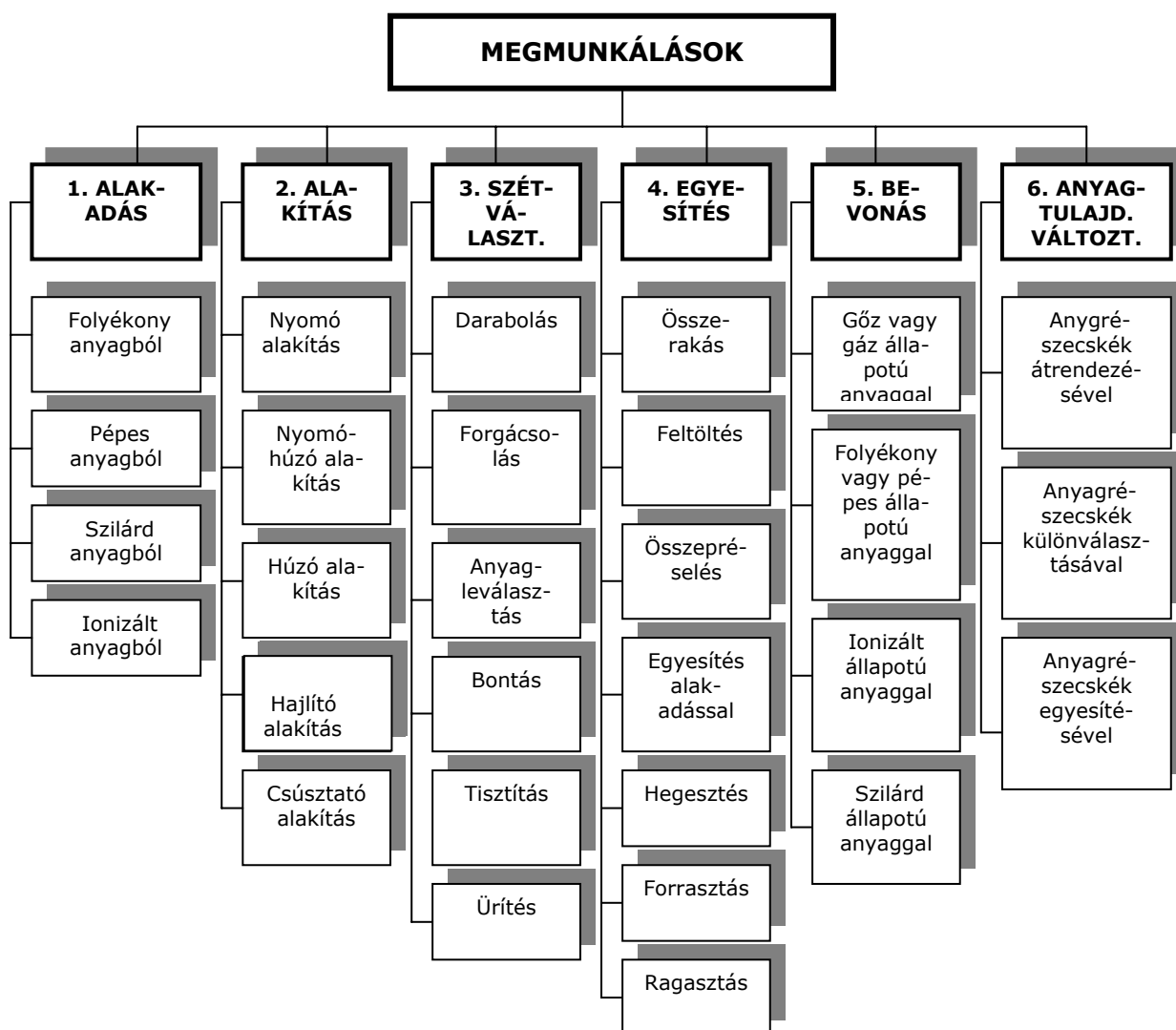
1. Definiálja és elemezze a gyártási folyamatot!
2. Definiálja és elemezze a technológiai folyamatot!

3. A GÉPIPARI TECHNOLÓGIÁK RENDSZERE ÉS PONTOSSÁGA

A gépipari technológiák céljaik szerint rendszerezhetők, és megadhatók a technológiákkal elérhető makro- és mikrogeometriai pontosságok közelítő értékei.

3.1. A gépipari technológiák rendszere

A gépipari technológiák, a megmunkáló eljárások különböző ismérvek alapján csoportosíthatók. Az egyik, ma széles körben használt osztályozási rendszert (DIN 8580, MSZ-05.09.000/1-85) mutatja be a 3.1.1. ábra. Az osztályozást itt csak a csoportok szintjéig tüntettük fel, de a csoportok a konkrét technológiákat is megjelölő alcsoportokra tagolódnak. Ezek közül a gépiparhoz szorosan kapcsolódó, fontosabb technológiákkal foglalkozunk a következő fejezetekben.



3.1.1. ábra.
A megmunkálások csoportosítása

3.2. A gépipari technológiák pontossága

A tevékenység jellegét tekintve a gépiparban alkalmazott technológiák az előgyártáshoz, az alkatrészgyártáshoz és a szereléshez sorolhatók. Ezek közül az előgyártáshoz és az alkatrészgyártáshoz tartozók sok esetben a velük sorozatgyártásban megvalósítható méretepontossággal és felületi érdességgel jellemezhetők (3.2.1. ábra), de természetesen igen lényeges az eljárásokkal elérhető alak- és helyzetpontosság is.

TECHNOLÓGIÁK		ELÉRHETŐ PONTOSSÁG																				
		IT-minőség														Érdességmélység, R _y [μm]						
		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	0,1	0,63	1,6	4	10	25	63	160	400
ALAKADÁS	Kokillaöntés																					
	Centrifugálöntés																					
	Nyomásos öntés																					
	Folyamatos öntés																					
	Szinterezés																					
ALAKÍTÁS	Meleghengerlés																					
	Felületi hideghen- gerlés																					
	Hidegfolyatás																					
	Mélyhúzás																					
	Süllyesztékes ková- csolás																					
SZÉTVÁLASZTÁS	Kivágás																					
	Esztergálás																					
	Fúrás																					
	Dörzsölés																					
	Marás																					
	Köszörülés																					
	Hónolás																					

3.2.1. ábra.
Néhány gépipari technológiával elérhető méretepontosság és felületi érdesség

3.2.1. A megmunkálások makrogeometriai jellemzői

A megmunkálás makrogeometriai jellemzőihez a *méret-, alak- és helyzetpontosság* sorolható. A megmunkálási folyamat célja – különösen az alkatrészgyártáskor – e jellemzők pontosítása, a műhelyrajzon előírt tűréshatárok biztosítása.

A gyártmány vagy annak részegysége akkor minősíthető jónak, ha a jellemzők értékei a megadott, a még elfogadható tűréshatárokon belülre esnek. Az abszolút pontos, tűrés nélküli előírásoknak egyetlen technológia sem képes eleget tenni.

A méretpontosság

A méretpontosság azt jelenti, hogy az alkatrész valamely felületelemének mérete milyen mértékben tér el a konstrukció által megszabott, a tervezés során meghatározott névleges mérettől. Ha a méret az előírt határokon, vagyis a tűréstartományon belül van, úgy az jónak minősíthető, egyébként selejt. A tűrés helyzetét és nagyságát a méretnek a konstrukcióban játszott szerepe, vagyis más méretekhez való illeszkedése határozza meg, ami lehet laza, átmeneti vagy szilárd (3.2.2. ábra).

A tűrés számítási módját és műhelyrajzon való megadását nemzetközi szabvány, az ISO tűrésrendszer rögzíti. A névleges mérethez írt betűjel (kisbetű külső, nagybetű belső méret) a tűrés helyzetére, míg a szám a tűrés nagyságára utal.

Például az $\varnothing 50H7$ azt jelenti, hogy a furat névleges mérete $D=50\text{ mm}$, a névleges mérettől való legkisebb eltérés, vagyis az alapeltérés $AE=0\text{ mm}$, és a tűrésmező szélessége az IT7 minőségnek felel meg. A *tűrésmező nagysága* táblázatokból vehető, vagy pl. a $D=1\ldots 500\text{ mm}$ mérettartományban a

$$T = q \cdot i \text{ [}\mu\text{m]} \quad (3.2.1.)$$

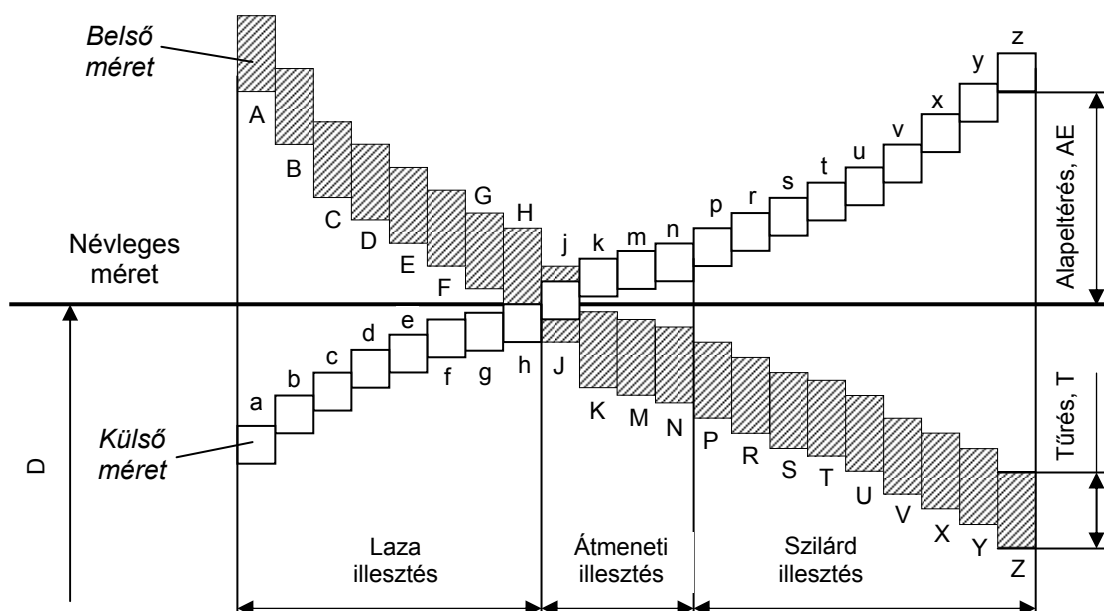
képlettel számíthatjuk, ahol

T – a tűrésmező szélessége,
 q – a tűrésminőségtől függő szorzó (3.2.1. táblázat),
 i – a tűrésegység.

A *tűrésegység* a mérettől függ:

$$i = 0,45 \cdot \sqrt[3]{D} + 0,001D \text{ [}\mu\text{m]} \quad (3.2.2.)$$

A képletben D – a névleges méret, milliméterben.



3.2.2. ábra
Illesztések a betűjelek alapján

	IT5	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12	IT13	IT14	IT15	IT16
q	7	10	16	25	40	64	100	160	250	400	640	1000

3.2.1. táblázat
A tűrésegység szorzószáma a tűrésminőség függvényében

Az alapeltérés értéke a méret és a betűjel függvényében számítható (3.2.2. táblázat), vagy kézikönyvek táblázataiból vehető. A táblázatban az alapeltérés értékei μm -ben, míg a D névleges méretek mm -ben értendők!

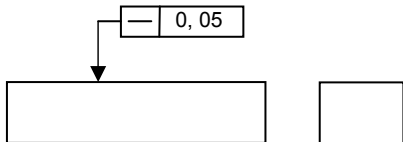
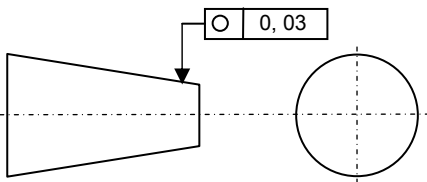
Jel	Mérettartomány [mm]	Az alapeltérés értéke [μm] (egész értékre kerekítve)
A, a	1...120	$265 + 1,3 \cdot D$
	121...3150	$3,5 \cdot D$
B, b	1...160	$140 + 0,85 \cdot D$
	161...3150	$1,8 \cdot D$
C, c	1...40	$52 \cdot D^{0,2}$
	41...3150	$95 + 0,85 \cdot D$
D, d	1...3150	$16 \cdot D^{0,44}$
E, e		$11 \cdot D^{0,41}$
F, f		$5,5 \cdot D^{0,41}$
G, g		$2,5 \cdot D^{0,34}$
H, h		0
J, j		$0,5 \cdot T$

Jel	Mérettartomány [mm]	Az alapeltérés értéke [μm] (egész értékre kerekítve)
K, k	1...500 501...3150	$0,63 \cdot D$ 0
M, m	1...500 501...3150	$T = IT6...IT7$ $0,024 \cdot D + 12,6$
N, n	1...500 501...3150	$5 \cdot D^{0,34}$ $0,04 \cdot D + 21$
P, p	1...3150	$0,027 \cdot D + 37,8$
R, r	1...3150	P és S közötti geometriai közép
S, s	1...50 51...3150	$IT8 + (1...4)$ $IT7 + 0,4$
T, t	1...3150	$IT7 + 0,4$
U, u		$IT7 + D$
V, v		$IT7 + 1,25 \cdot D$
X, x		$IT7 + 1,6 \cdot D$
Y, y		$IT7 + 2 \cdot D$
Z, z		$IT7 + 2,5 \cdot D$

3.2.2. táblázat
Alapeltérések az ISO tűrésrendszer szerint

Az alakpontosság

Az alakpontosság az elméleti geometriai elemtől (pl.: egyenes, kör, henger) való eltérést jellemzi a munkadarabon. Az alakokat – hasonlóan a méretekhez – sem lehet teljes pontossággal elkészíteni. Ezekre is tűréseket kell előírni, melyek túllépése selejtet eredményez. A tűrések megadására ez esetben is nemzetközi szabvány (DIN ISO 1101) szerinti előírások vonatkoznak. A 3.2.3. táblázat ezen előírásokra és azok értelmezésére mutat néhány példát.

Megnevezés	Példa a jelölésre	Magyarázat
Egyenesség		A tűrésezett geometriai elemre (síkra) a rajz síkjával párhuzamosan rajzolt egyenesek két párhuzamos egyenes közé esnek, melyek egymástól való távolsága 0,05 mm.
Körkörösség		A tűrésezett geometriai elem (kúp) bármely tengelyre merőleges metszetében a körök két koaxiális kör közé esnek, melyeken az ívek távolsága 0,03 mm.

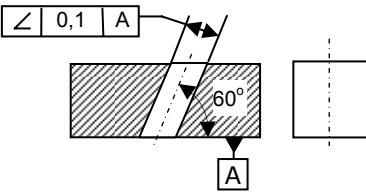
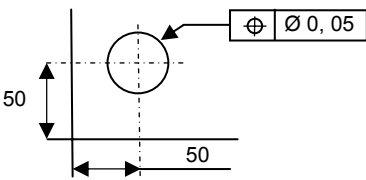
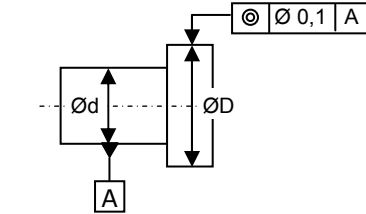
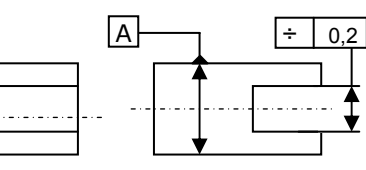
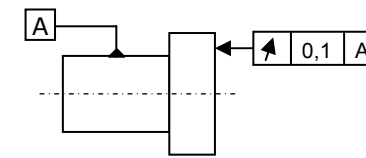
Megnevezés	Példa a jelölésre	Magyarázat
Hengeresség		A tűrésezett geometriai elem (henger) palástjának minden pontja két koaxiális hengerpalást közé essen, melyeken a palástok távolsága 0,05 mm.
Profilalak		A tűrésezett geometriai elemre (általános térbeli felület) a rajz síkjával párhuzamosan rajzolt görbék két burkológörbe közé essenek, melyek közé $d=0,08$ mm átmérőjű körök rajzolhatók, és középpontjaik a geometriailag ideális, az adott metszetre előre meghatározott profilon sorakoznak.
Felületalak		A tűrésezett geometriai elem (gömb) felületének minden pontja két burkolófelület közé essen, melyek közé $d_g=0,05$ mm átmérőjű gömbök helyezhetők, és azok középpontjai a geometriailag ideális, előre meghatározott felületen sorakoznak.
Síklapúság		A tűrésezett geometriai elemnek, a síknak két egymással párhuzamos elméleti sík között kell elhelyezkednie, és ezek távolsága 0,03 mm.

3.2.3. táblázat
Alakhibák a DIN ISO 1101 szabvány szerint

A helyzetpontosság

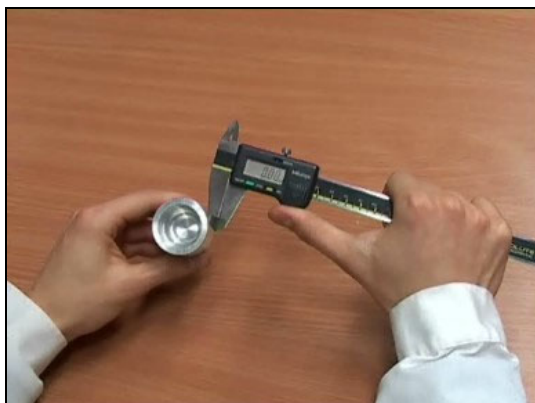
Helyzetpontosságon a munkadarab valamely geometriai eleme helyzetének az előírttól való eltérését értjük. Az előírt értékeket (szögek, távolságok) a műhelyrajzok tartalmazzák, melyek legtöbbször felületekre vagy tengelyekre vonatkoznak (3.2.4. táblázat).

Megnevezés	Példa a jelölésre	Magyarázat
Párhuzamosság		A munkadarab felső síkfelületének tűrésen belül párhuzamosnak kell lennie az A jelű bázisfelülettel, ami azt jelenti, hogy a bázisfelülettel párhuzamos két sík közé kell esnie, melyek egymástól való távolsága 0,03 mm.
Derékszögűség		A munkadarab jobb oldali homlokfelületének tűrésen belül merőlegesnek kell lennie az A bázisfelület tengelyére, ami azt jelenti, hogy a bázisfelület tengelyére merőleges két párhuzamos sík közé kell esnie, melyek egymástól való távolsága 0,05 mm.

Megnevezés	Példa a jelölésre	Magyarázat
Szöghiba		A munkadarab bejelölt furatának tűrésen belül 60°-ot kell bezárnia az A bázisfelülettel, ami azt jelenti, hogy a furat tengelyének a bázisfelülettel 60°-ot bezáró két síkfelület közé kell esnie, melyek egymástól mért távolsága 0,1 mm.
Pozícióhiba		A munkadarab bejelölt furata tengelyének az oldalfelületektől a megadott tűrésen belül 50-50 mm-re kell elhelyezkednie, ami azt jelenti, hogy a tengely az elméletileg kijelölt helyen megrajzolt, Ø0,05 mm átmérőjű hengeren belülré essen.
Egytengelyűség		A munkadarab bejelölt jobb oldali hengeres felülete tengelyének a megadott tűrésen belül egybe kell esnie az A bázisfelület tengelyével, ami azt jelenti, hogy a tengely a bázisfelület tengelye köré rajzolt Ø0,1 mm átmérőjű hengeren belül helyezkedjen el.
Szimmetriasík		A munkadarab bejelölt síkfelületei szimmetriasíkjának a megadott tűrésen belül egybe kell esnie az A bázisfelületek szimmetriasíkjával, ami azt jelenti, hogy a tűrt szimmetriasík a bázisfelület szimmetriasíkjával párhuzamosan berajzolt, egymástól 0,2 mm távolságra eső síkok között helyezkedjen el.
Ütés		A munkadarab bejelölt homlokfelületén, az A bázisfelület tengelye körüli megforgatáskor a homlokütés bármely helyen nem lehet nagyobb 0,1 mm-nél.

3.2.4. táblázat
Helyzetpontosság a DIN ISO1101 szabvány szerint

Példák a makrogeometriai hibák mérésére



Mérés digitális kijelzésű tolómérővel
(006.wmv)

Forrás: Kecskeméti Főiskola GAMF Kar
Gépgyártástechnológia Tanszék
<http://gtt.gamf.hu>

A videofelvétel célja:

Külső és belső átmérő mérésének bemutatása digitális kijelzésű tolómérővel.



Mérés háromkoordinátás mérőgépen
(007.wmv)

Forrás: Kecskeméti Főiskola GAMF Kar
Gépgyártástechnológia Tanszék
<http://gtt.gamf.hu>

A videofelvétel célja:

Külső és belső átmérő méretpontossága, alakpontossága, helyzetpontossága mérésének bemutatása háromkoordinátás mérőgépen.

A mérés menete:

1. A belső átmérő letapogatása
2. A külső átmérő letapogatása
3. Körök illesztése a letapogatott pontokra
4. Az átmérőméretek leolvasása a képernyőről ($\varnothing 28,952$; $\varnothing 39,951$)
5. A körkörösségi hibák leolvasása a képernyőről (0,0084 ; 0,012)
6. A koncentricitás hibájának leolvasása a képernyőről (0,005)

3.2.2. A megmunkálások mikrogeometriai jellemzői

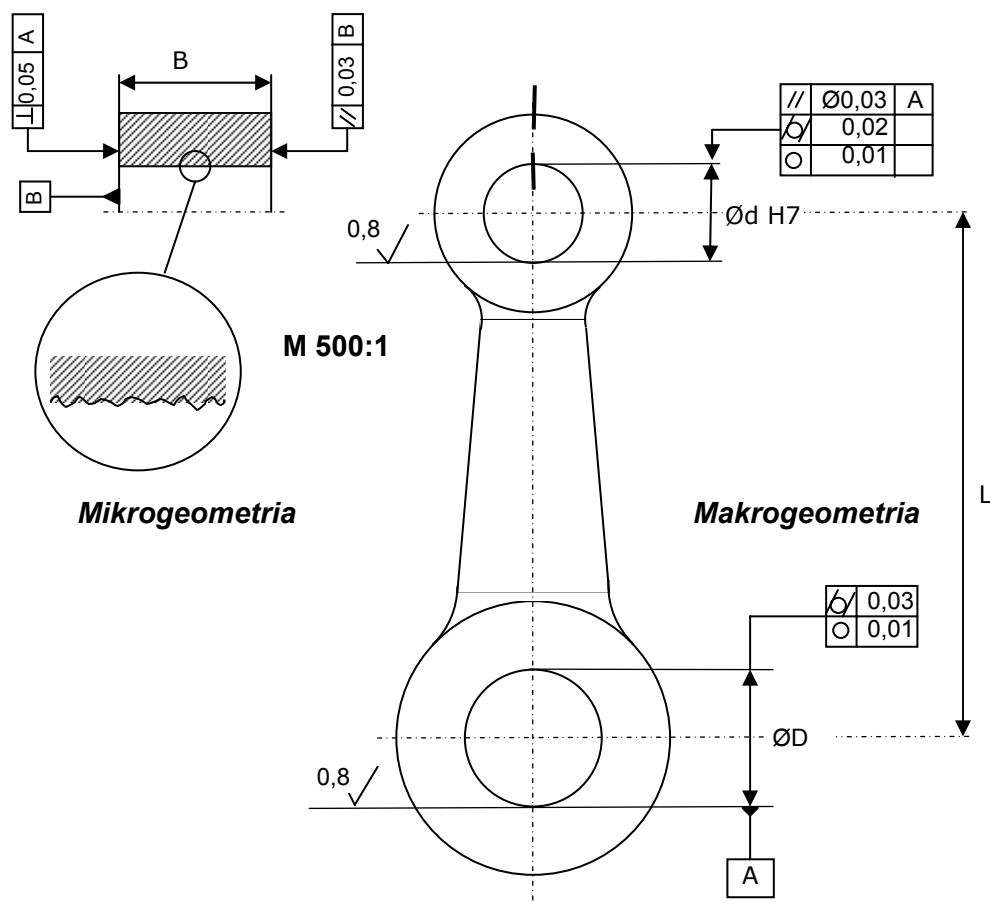
A legyártott munkadarab mikrogeometriáját a felület hullámossága és érdessége jellemzi. Tribológiai szempontból, a nanotechnológiát is érintő határréteg-vizsgálatkor fontos lehet még a szövetszerkezet és a kristályrács struktúrájának elemzése is, de ezekkel itt most nem foglalkozunk.

A hullámosság és a felületi érdesség

A 3.2.3. ábra egy öntött, majd forgácsolással megmunkált hajtókar néhány makro- és mikrogeometriára vonatkozó előírását szemlélteti. Az ábrán 500-szoros nagyításban az $R_a=0,8 \mu m$ átlagos felületi érdességű furat profildiagramja is látható.

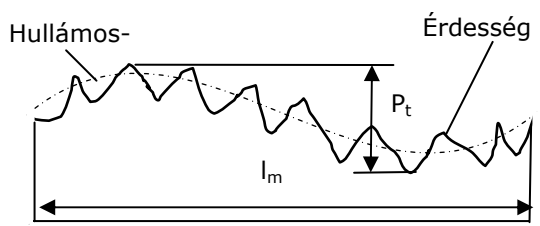
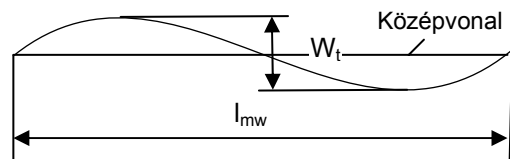
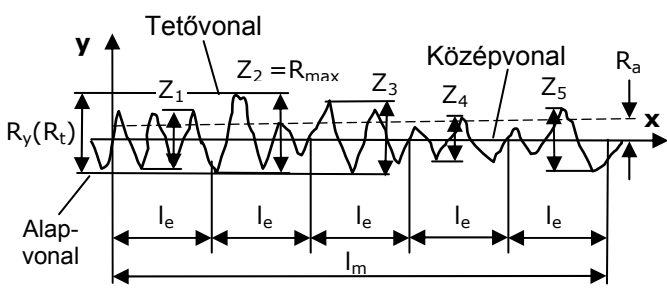
A 3.2.4. ábra a munkadarab-felületek mikrogeometriai profiljához tartozó hullámossági és érdességi profilját tárgyalja, kitérve az alakpontossághoz való viszonyra is.

	3. A GÉPIPARI TECHNOLÓGIÁK RENDSZERE ÉS PONTOSSÁGA	Copyright© 2006 v1.00.20060310
	I. FORGÁCSOLÁSTECHNOLÓGIAI ALAPOK	22. oldal



3.2.3. ábra
A hajtókar néhány makro- és mikrogeometriára vonatkozó előírása

Megnevezés	Profil	Magyarázat
Teljes profil	D-profil	Teljes profilszűrés nélkül, alak-, hullámossági és érdességi hibával.
Alakhiba		A teljes profilból az érdességi és hullámossági hibák kiszűrve, csak az alakhiba (pl.: hengeresség) marad. l_f – kiértékelési hossz az alakhibára F_a – alakhiba

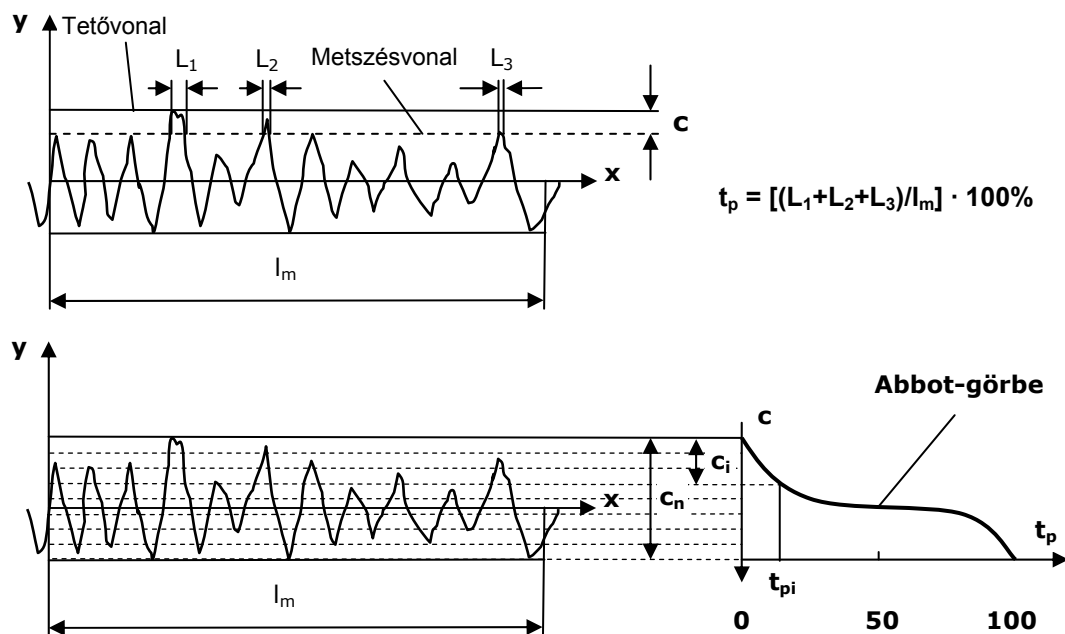
Megnevezés	Profil	Magyarázat
Szűrés nélküli mikrogeometriai profil	P-profil 	A teljes profilból az alakhiba kiszűrve, csak az érdességi és hullámossági hiba marad. l_m – kiértékelési (mérési) hossz P_t – profilmélység
Hullámossági profil	W-profil 	A teljes profilból az alakhiba és az érdességi hiba kiszűrve, csak hullámossági hiba marad. W_t – hullámmélység l_{mw} – kiértékelési hossz a W profilra
Érdességi profil	R-profil  $R_z = (Z_1 + Z_2 + Z_3 + Z_4 + Z_5) / 5; \quad l_e = l_m / 5$ $R_{max} = (Z_i)_{max} = Z_2 \quad R_a = \frac{1}{l_m} \int_0^{l_m} y dx$	A teljes profilból az alakhiba és a hullámossági hiba kiszűrve, csak az érdességi hiba marad. l_e – egyedi mérési szakasz R_z – egyenetlenségmagasság R_{max} – maximális érdesség R_y^* – érdességmélység R_a – átlagos érdesség * régebbi jelöléssel R_t

3.2.4. ábra
A munkadarab-felületek mikrogeometriai jellemzői

Tribológiai, vagyis illeszkedési, csúszási, súrlódási és kopási szempontok miatt igen fontos a viszonylagos hordozó hossz értelmezése az R-profilon (3.2.5. ábra).

Az R-profil valamely c_i mélységében értelmezett t_{pi} fajlagos hordozó hossz értéke úgy állapítható meg, hogy az anyagból a középvonallal párhuzamosan kimetszett szakaszok összegét osztjuk a kiértékelési hosszal, és a százalékos értelmezés miatt szorozzuk 100-zal (Abbott-görbe).

Tribológiai szempontból azok a felületek ítélték jobbnak – azoknak jobbak pl. a siklási tulajdonságai –, amelyeknek Abbott-görbéje teltebb, vagyis a t_{pi} értékek már a tetővonalhoz közeli részen is nagyok.



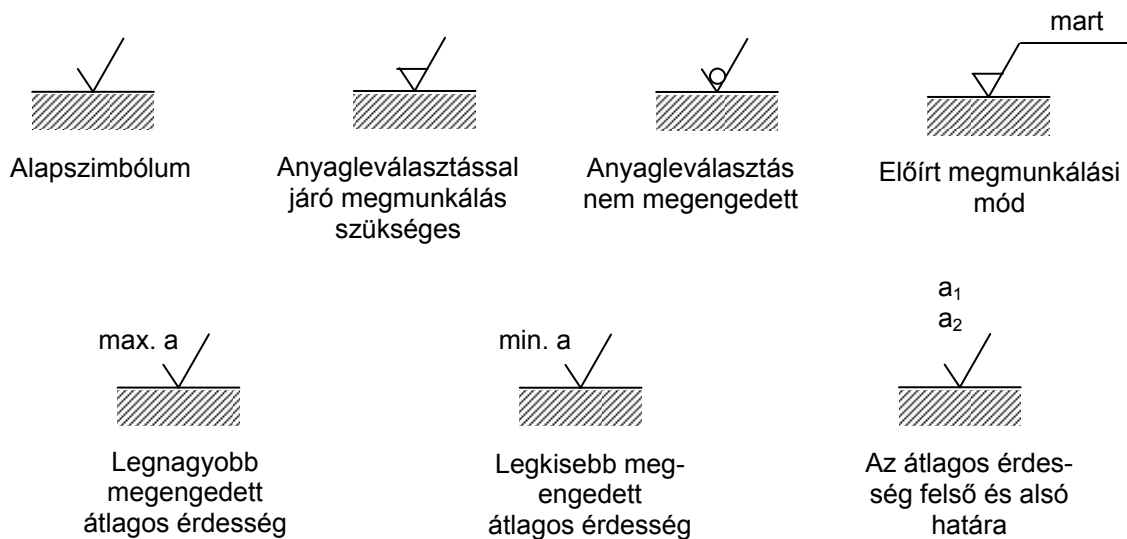
3.2.5. ábra
A viszonylagos hordozó hossz értelmezése

A műhelyrajzokon előírható érdességi jellemzők értékeire (3.2.5. táblázat) és a formai előírásokra (3.2.6. ábra) a DIN ISO 1302 szabvány ad útmutatást.

Érdességi osztály	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9	N10	N11	N12
R_a [μm]	0,025	0,05	0,1	0,2	0,4	0,8	1,6	3,2	6,3	12,5	25	50
R_z, R_y [μm]	0,2 – 0,4 – 0,8 – 1,6 – 3,2 – 6,3 – 12,5 – 25 – 50 – 100 – 200											

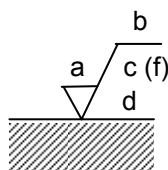
3.2.5. táblázat
Az érdességi jellemzők ajánlott értékei

Szimbólumok



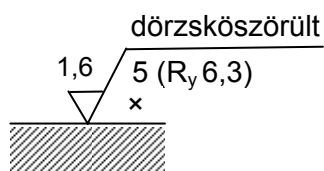
Az érdességi előírások megadási módja

Karcirányok (d):
 = a rajz síkjával párhuzamos
 $\perp$ a rajz síkjára merőleges
 $\times$ keresztezett karcirány



a – átlagos felületi érdesség (R_a) vagy érdességi osztály (N)
 b – megmunkálási mód
 c – kiértékelési (mérési) hossz
 d – karcirány a felületen
 f – az R_a -tól különböző érdességi jellemző

Példa



3.2.6. ábra
 Az érdességi jellemzők megadása műhelyrajzokon

Példa a mikrogeometriai hibák mérésére



A felületi érdesség mérése
(008.wmv)

Forrás: Kecskeméti Főiskola GAMF Kar
Gépgyártástechnológia Tanszék
<http://gtt.gamf.hu>

A videofelvétel célja:

A mikrogeometriai hibák mérésének bemutatása.

A mérés menete:

1. A felület letapogatása gyémánttapintóval
2. A teljes profil (D) kirajzolása a képernyőn
3. Az érdességi profil (R) kirajzolása, a mérőszámok leolvasása ($R_a=1,81\mu\text{m}$; $R_t=9,76\mu\text{m}$)
4. A D-, P-, W-profilok megtekintése
5. A mérési jegyzőkönyv nyomtatási képének megtekintése
6. A mérési jegyzőkönyv nyomtatása

Ellenőrző kérdések:

1. Mit ért a megmunkált felület makro- és mikrogeometriai jellemzőin?
2. Rajzoljon fel egy laza, egy szilárd és egy átmeneti illesztést!
3. Hogyan számítjuk az ISO előírások szerint a tűrésmező-szélességet és az alapeltérést?
4. Milyen alakpontossági előírásokat ismer, hogyan jelöljük és értelmezzük azokat?
5. Milyen helyzetpontossági előírásokat ismer, hogyan jelöljük és értelmezzük azokat?
6. Elemezze a megmunkált felületek mikrogeometriáját (D-, P-, W- és R- profil)!
7. Vázlat segítségével ismertesse a leggyakrabban használt érdességi mérőszámokat!
8. Rajzoljon példát a méretpontosság, az alakpontosság, a helyzetpontosság és az érdességi jellemzők megadására!

	3. A GÉPIPARI TECHNOLÓGIÁK RENDSZERE ÉS PONTOSÁGA	Copyright© 2006 v1.00.20060310
	I. FORGÁCSOLÁSTECHNOLÓGIAI ALAPOK	27. oldal

3.2.3. Számítási példák

I. feladat

Tűrés és illesztés számítása, műveleti sorrend készítése

Számítsa ki az $\varnothing 20H7/g6$ illesztés jellemző értékeit, készítsen vázlatot, és határozza meg az illesztés jellegét!

Tegyen javaslatot a csap elkészítésére (készítsen műveleti sorrendet), ha a megmunkálandó anyag Fe490-2 jelű szerkezeti acél, a kiinduló átmérő $\varnothing 25$, a csap hossza $L=65$ mm, az előírt felületi érdesség a palástfelületen $R_a=0,8$ μm , az oldalfelületeken $R_a=3,2$ μm . Az éleken $1 \times 45^\circ$ élettörés szükséges!

1. A tűrésmező-szélességek:

$\varnothing 20H7$

$$T_f = q \cdot i \approx 20 \text{ } \mu\text{m} \quad (3.2.1), (3.2.2)$$

$\varnothing 20g6$

$$T_{cs} = q \cdot i \approx 12 \text{ } \mu\text{m} \quad (3.2.1), (3.2.2)$$

2. Az alapeltérések:

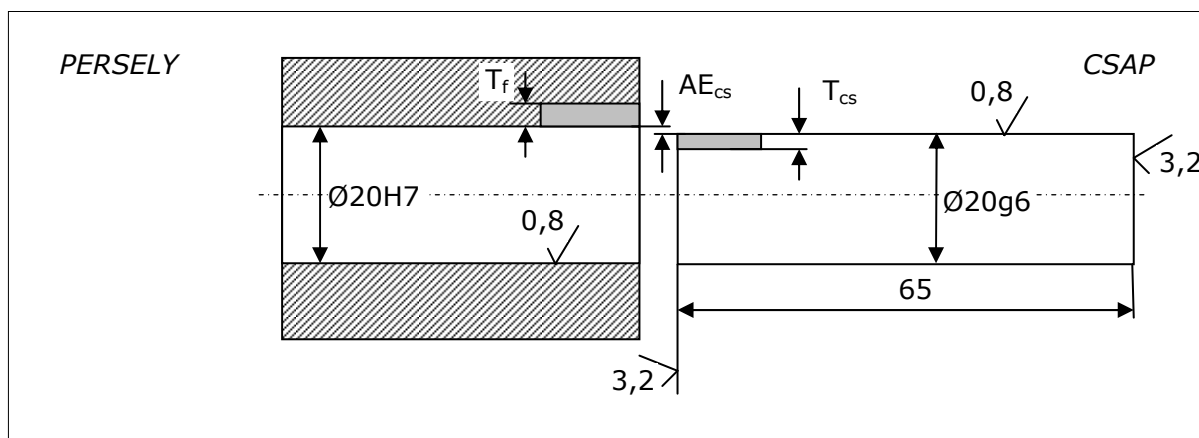
H

$$AE_f = 0 \text{ } \mu\text{m} \quad (3.2.2. \text{ ábra}, 3.2.2. \text{ táblázat})$$

g

$$AE_{cs} \approx -7 \text{ } \mu\text{m} \quad (3.2.2. \text{ ábra}, 3.2.2. \text{ táblázat})$$

3. A vázlat:



Csap és persely (furat) illesztése

4. Az illesztés jellege:

Laza illesztés

(3.2.2. ábra)

5. A csap műveleti sorrendje:

I. ESZTERGÁLÁS I.

1. Szálanyagot tokmányba fog
2. Oldalaz
3. Központot fúr
4. Csúccsal megtámaszt
5. Nagyol Ø25-ről Ø22-re 70 mm hosszon
6. Simít Ø22-ről Ø20,6-ra 70 mm hosszon
7. Élt letör 1x45°-ban
8. Csúcsot eltávolít
9. Leszúr L=66-ra

II. ESZTERGÁLÁS II.

1. Munkadarabot tokmányba fog, ütköztet
2. Oldalaz méretre (L=65 mm)
3. Központot fúr
4. Élt letör 1x45°-ban
5. Munkadarabot kifog

III. KÖSZÖRÜLÉS

1. Munkadarabot menesztő- és forgócsúcs közé fog
2. Köszörül Ø20g6-ra teljes hosszon
3. Munkadarabot kifog

IV. MÉRETEK ELLENŐRZÉSE

Megjegyzés: a római számok a műveleteket (MŰV), az arab számok a műveletelemeket (MŰVE) jelölik.

II. feladat

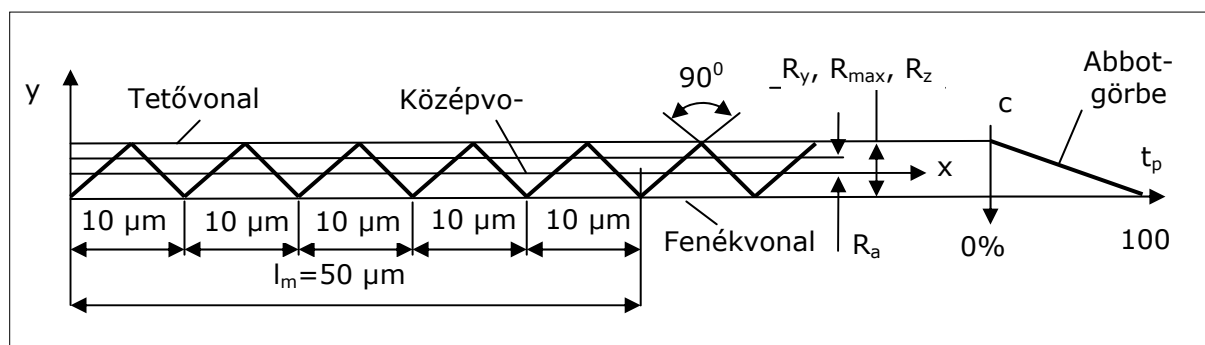
Felületi érdesség meghatározása

Adott az ábrán látható idealizált R-profil diagram.

Rajzolja be a középvonalat, a tetővonalat és a fenékvonalat!

Határozza meg és rajzolja be az R_y , R_z , R_{max} , és R_a értékeket!

Rajzolja meg a diagramhoz tartozó Abbot-görbét!



R-profil diagram

A középvonalt úgy rajzolható be, hogy a profil alatti terület vonal felett lévő része azonos legyen a vonal alattival, azaz a „negatív” területek nagysága megegyezzen a „pozitív” területekével.

A tetővonal a középvonallal párhuzamos, és átmegy a profil legmagasabb pontján (pontján).

A fenékvonal a középvonallal párhuzamos, és átmegy a profil legalacsonyabb pontján (pontján).

Az R_y , R_{max} , R_z értékek a 3.2.6. ábra R-profil diagramja és az ott közölt számítási módszerek szerint azonosak: $R_y = R_{max} = R_z = 5 \mu m$.

Az átlagos érdesség az $R_a = \frac{1}{l_m} \int_0^{l_m} |y| dx$ képlet szerint: $R_a = \frac{1}{50} \cdot \left(10 \cdot \frac{5 \cdot 2,5}{2} \right) = 1,25 \mu m$.

A feladatban megadott R-profil diagram mellé berajzolt Abbot-görbe egyenes.

4. FORGÁCSOLÁS

A forgácsolás a megmunkálások szétválasztási csoportjába tartozik (3.1.1. ábra). A szétválasztás az a gépipari technológia, mellyel valamely szilárd test előírt alakját helyi, koncentrált anyagleválasztással alakítjuk ki. Ebbe a csoportba soroljuk a darabolást (pl.: lemezkivágás), a forgácsolást (pl.: esztergálás), a fizikai-kémiai anyagszétválasztást (pl.: elektrokémiai megmunkálás), a bontást (pl.: szétszerelés) és a felülettisztítást (pl.: zsírtalanítás). E fejezet a felsoroltak közül a forgácsolási alaptéchnológiákkal foglalkozik.



A forgácsleválasztás mechanizmusa
(009.wmv)

Forrás: BALZERS GmbH.
<http://www.balzers.com>

A videofelvétel célja:

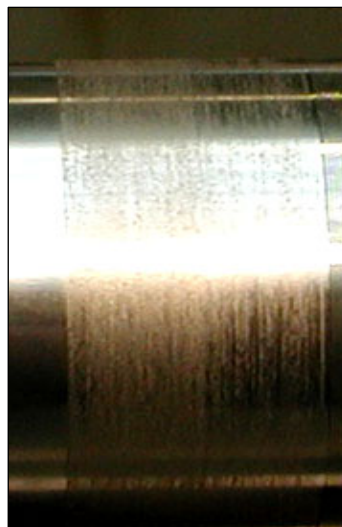
A forgácsleválasztás és az élrátétképződés bemutatása.

Megjegyzés:

- A felvételen követhető a forgácstőben kialakuló nyírási folyamat.
- Bevonat nélküli gyorsacél szerszámmal forgácsolva, intenzív anyagfeltapadás (élrátétképződés) észlelhető, ami leválva a forgácsoló ékről a megmunkált felületre rakódik, növelve a felületi érdességet.



**Élrátétképződés nélkül
forgácsolt felület**



**Élrátétképződéssel
forgácsolt felület**

4.1. Esztergálás

Az esztergálás a szabályos élgeometriájú anyagszétválasztó megmunkálásokhoz tartozik, amelynek során szerszámként mesterségesen kialakított (pl.: köszörüléssel, csiszolással), szabályos forgácsoló éket használnak.

 OKTOPUS	4. FORGÁCSOLÁS	Copyright© 2006 v1.00.20060310
	I. FORGÁCSOLÁSTECHNOLÓGIAI ALAPOK	31. oldal

4.1.1. Technológiai alapok

Esztergáláskor a szerszámgépek, a munkadarab és a szerszám egymáshoz viszonyított helyzetét és mozgását nagy pontosságú kinematikai láncokon keresztül biztosítják. A munkadarab forog (n), miközben a szerszám (f) előtolással halad a munkadarab forgástengelyének irányában, és (a) fogásnak megfelelő forgácsot választ le: a D átmérő d -re csökken (4.1.1. ábra). A munkadarab kerületi sebessége (v_c) – a forgácsolósebesség.

A rajzon megadott mozgásirányokkal hengeres felületet esztergálhatunk, de ha a szerszám csúcsa valamilyen általános, síkbeli pálya mentén mozdul el, vagy az előtolás iránya a munkadarab forgástengelyének irányára merőleges, úgy tetszőleges forgásfelületek, illetve síkfelületek is esztergálhatók.

A 4.1.1. a) ábrán be vannak jelölve a technológiai paraméterek (a , f , v_c), illetve az ezekből számítható fordulatszám (n) és előtolósebesség (v_f):

$$n = \frac{1000 \cdot v_c}{d \cdot \pi} \quad [\text{ford/min}] \quad (4.1.1.)$$

$$v_f = n \cdot f \quad [\text{mm/min}] \quad (4.1.2.)$$

Az előtolásnyi szerszámelmozdulással leválasztott elméleti forgácskeresztmetszet:

$$A = a \cdot f = h \cdot b \quad [\text{mm}^2] \quad (4.1.3.)$$

ahol

$h = f \cdot \sin \kappa_r$ – a forgácsvastagság,

$b = a / \sin \kappa_r$ – a forgácsszélesség,

κ_r – a főél elhelyezési szöge.

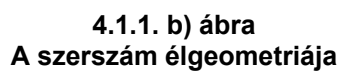
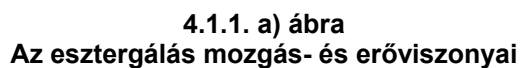
A 4.1.1. b) ábrán az s főél kiválasztott S pontjában berajzoltuk a szerszámmeghatározó (a szerszámmal kapcsolatos) szögrendszer síkjait: az ortogonál síkrendszert (P_o – ortogonálisík, P_s – élsík, P_r – alapsík) és a koordináta síkrendszert (P_f – munkasík, P_p – tengelysík, P_r – alapsík).

Mindkét síkrendszerre jellemző, hogy a P_r – alapsík merőleges a forgácsolósebesség (v_c) berajzolt, feltételezett irányára és a síkok – térbeli derékszögű koordináta-rendszert alkotva – kölcsönösen merőlegesek egymásra. A P_o metszetben látszik az α_o – ortogonál hátszög, a γ_o – ortogonál homlokszög, valamint a β_o – ortogonál ékszög, de a metszetek a többi síkban is elkészíthetők, és az élszögek a megfelelő indexekkel azokba is berajzolhatók.

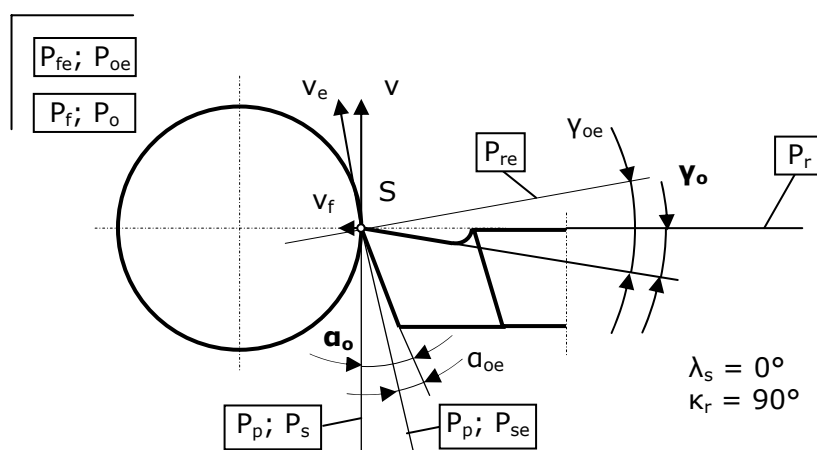
A nagyítás érzékelteti, hogy az él – amely elvileg a hátlap (A_o) és a homlorklap (A_v) metszésvonala – a valóságban nem vonal, hanem egy r_n sugarú henger, és ezt értelmezik az él lekerekedési sugaraként. A szerszám annál élesebb, minél kisebb az éllekerekedése ($r_n = 10 \dots 50 \mu\text{m}$).

A κ_r a főél, a κ_r' a mellékél elhelyezési szöge (a munkasík és az élsíkok által bezárt szögek az alapsíkban), míg az ϵ_r a szerszám csúcshézagja. Az r_ϵ csúcshézag (a $r_\epsilon = 0,1 \dots 1,2 \text{ mm}$) a szerszámkorrekció számításakor, az NC-technológia tervezésekor van különös jelentősége.

	4. FORGÁCSOLÁS	Copyright© 2006 v1.00.20060310
	I. FORGÁCSOLÁSTECHNOLÓGIAI ALAPOK	32. oldal



Fontos, hogy az élszögeket és a technológiai adatokat úgy kell megválasztani, hogy a működő hátszögek pozitívak legyenek, a szerszám „ne nyomja” a munkadarabot.



Anyag	$k_{s\ 1.1}, N/mm^2$	z	Anyag	$k_{s\ 1.1}, N/mm^2$	z
Fe 235	1780	0,17	C 60	2130	0,18
Fe 490 (C45)	2110	0,17	X12CrNi 189	2300	0,30
C 15	1820	0,32	16MnCr5	2100	0,26

4.1.1. táblázat

A fajlagos forgácsolóerő és a z kitevő értékei

Ötvözetlen szerkezeti acélok nagyoló és simító esztergálásakor a szerszámok és a készülék-elemek szilárdsági méretezéséhez felhasználható az alábbi tapasztalati összefüggés, melyet mérések is igazoltak:

$$F_v \approx 3 \cdot F_f \approx 1,6 \cdot F_a \quad [N] \quad (4.1.6.)$$

A forgácsolási teljesítmény:

$$P_c = F_v \cdot v_c \quad [W] \quad (4.1.7.)$$

mert a másik két erőkomponens irányába eső sebesség értéke vagy nulla ($v_a=0$), vagy a forgácsolósebességhez képest elhanyagolhatóan kicsi ($v_f=[0,01...0,001] \cdot v_c$).



A videofelvétel célja:

A forgácsolóerő mérésének bemutatása.

A mérés menete:

1. A technológiai paraméterek beállítása (v_c ; f ; a)
2. Fogásvétel
3. Az erőkomponensek F_v ; F_f ; F_a) alakulásának megtekintése a képernyőn
3. A mérési adatok kiértékelése (pl.: átlagolás)
4. Nyomtatás

A forgácsolóerő mérése háromkomponenses, piezoelektromos erőmérővel (010.wmv)

Forrás: Kecskeméti Főiskola GAMF Kar
Gépgyártástechnológia Tanszék
<http://gtt.gamf.hu>

A forgácsolószerszámok élei megmunkálás közben kopnak, elhasználódnak. Az elhasználódás mértékét általában a P_s élsíkkal párhuzamos síkban mért átlagos hátfelületi kopás (VB) mértékével jellemzik (4.1.3.a) ábra), melynek a szabvány szerinti maximálisan megengedett mértéke gyorsacélra és keményfémre $VB_{meg}=0,3\ mm$, kerámiára $VB_{meg}=0,2\ mm$.

	4. FORGÁCSOLÁS	Copyright© 2006 v1.00.20060310
	I. FORGÁCSOLÁSTECHNOLÓGIAI ALAPOK	35. oldal

Ennek elérése jelenti a szerszámél tönkremenetelének idejét, az éltartamot (T). Az átlagos hátkopás a $b-(b/4+r_\epsilon)$ élhosszúság alatti kopás átlaga. Az ábra szerint b az eredeti, fogásban lévő élhosszúság, amely megegyezik az elméleti forgács szélességgel (4.1.1. a) ábra). A VB_{max} maximális hátkopás legtöbbször a szerszámcsúcs közelében vagy a fogásban lévő élhosszúság végén mérhető, melynek megengedett nagysága általában a VB_{meg} kétszerese.

Szívós anyagok forgácsolásakor a homlokfelületen kráteres kopás alakulhat ki, melynek nagysága a KT krátermélységgel jellemezhető, de ennek mérése nehézkes, így a szerszám tönkremenetelének jellemzésére legtöbbször a $VB-t$ diagramot (a kopásgörbét) használják (4.1.3. b) ábra).

Az *éltartam* elsősorban a technológiai adatok – különösen a forgácsolósebesség – függvénye, és az egyszerű Taylor-egyenlet szerint közelítőleg a következő tapasztalati képletből számítható:

$$v_c \cdot T^m = C$$

vagy a számításokhoz jobban használható alakban:

$$T = C_v \cdot v_c^{k_v} \quad [\text{min}] \quad (4.1.8.)$$

ahol

m – az éltartamkitevő,

C – állandó,

k_v – a Taylor-kitevő,

C_v – a Taylor-konstans.

A k_v és a C_v értékeit néhány munkadarabanyagra és keményfém szerszámmra a 4.1.2. táblázat tartalmazza.

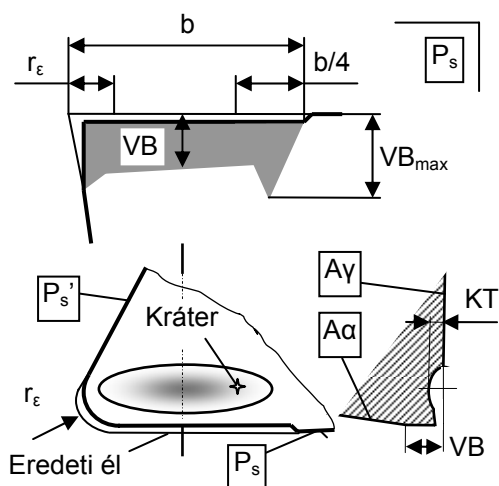
A táblázat adatainak érvényességi tartománya: $a=1...4 \text{ mm}$, $f=0,1...0,4 \text{ mm/ford}$, $T=6...60 \text{ min}$.

Anyag	k_v	C_v	Anyag	k_v	C_v
Fe 235	-4	$1,1 \cdot 10^{11}$	9S20k	-3,3	$4,7 \cdot 10^8$
Fe 490	-3,3	$8,6 \cdot 10^8$	200 (Öv 200)	-2	$6,0 \cdot 10^8$
16MnCr5	-3,3	$1,8 \cdot 10^8$	CuZn63	-1,7	$1,8 \cdot 10^4$

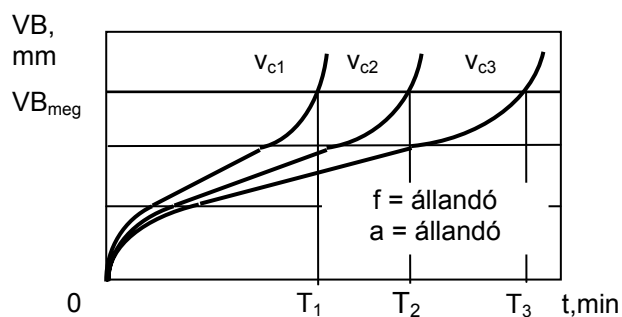
4.1.2. táblázat

A Taylor-kitevő és a Taylor-konstans értékei keményfém szerszámanyagra

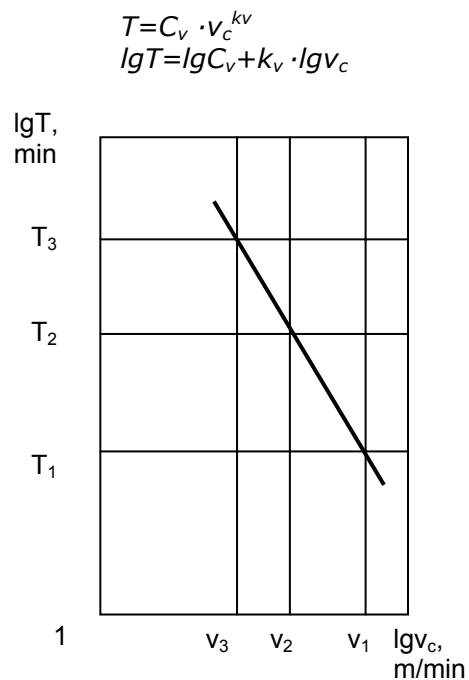
Az (4.1.8) egyenlet szerinti Taylor-diagram a kopásgörbékől szerkeszthető (4.1.4. ábra)



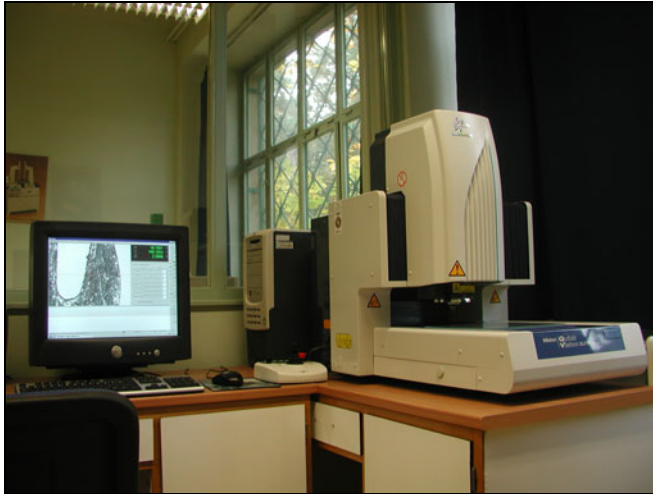
4.1.3. a) ábra
Kopásfajták



4.1.3. b) ábra
Kopásgörbék



4.1.4. ábra
A Taylor-diagram



Forgácsoló lapka kopásának mérése CCD-kamerás, háromkoordinátás mérőmikroszkóppal (011.wmv)

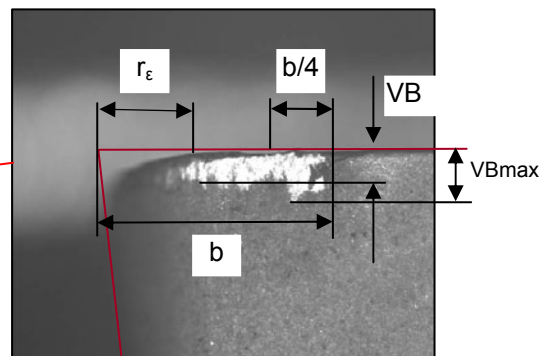
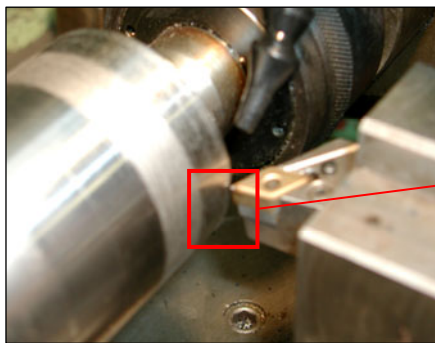
Forrás: Kecskeméti Főiskola GAMF Kar
Gépgyártástechnológia Tanszék
<http://gtt.gamf.hu>

A videofelvétel célja:

A szerszámkopás mérésének bemutatása.

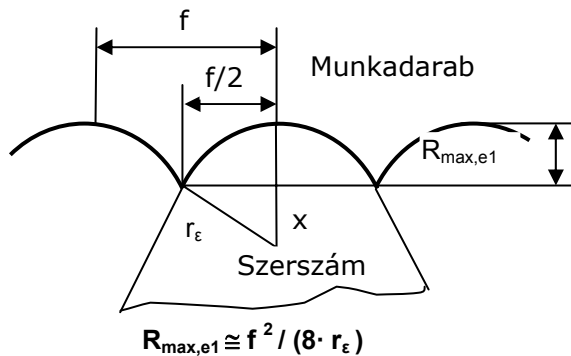
A mérés menete:

1. A keményfém lapka befogása
2. A keményfém lapka mérési helyzetbe hozása
3. A mérési bázis (eredeti él) kijelölése a képernyőn
4. A kijelölt pontok távolságának mérése a mérési bázistól
5. A mérési adatok tárolása
6. Kiértékelés ($VB_{\max}$; VB meghatározása)

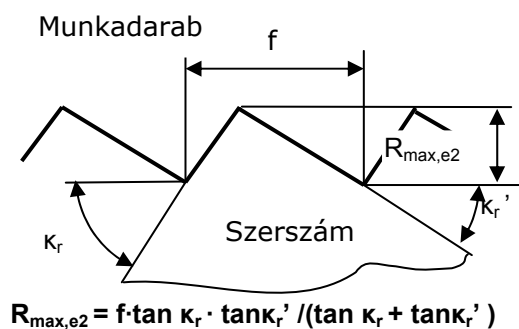


A kopott lapka forgácsolás közben és mikroszkóp alatt

A 4.1.1. ábra munkadarabjának d átmérőjű megmunkált felületén a szerszám csúscsözei része hagy nyomot, és elméletileg ez határozza meg a felület érdességét. Nagy csúcssugarú szerszámmra és kis előtolásra a 4.1.5. ábra, míg hegyes szerszámmra és nagy előtolásra a 4.1.6. ábra vázlata és képlete érvényes.



4.1.5. ábra. Az $R_{\max,e1}$ felületi érdesség



4.1.6. ábra. Az $R_{\max,e2}$ felületi érdesség

	4. FORGÁCSOLÁS	Copyright© 2006 v1.00.20060310
	I. FORGÁCSOLÁSTECHNOLÓGIAI ALAPOK	38. oldal



A szerszámcsúcs nyoma a megmunkált felületen
(012.wmv)

Forrás: AB SANDVIK COROMANT
<http://www.sandvik.com>

A valóságos felületi érdesség általában nagyobb a számított értékeknél, mert a számításoknál például a megmunkáló rendszer dinamikai viselkedését figyelmen kívül hagytuk. A szerszámgép hajtási rendszere, a forgácstörés, az élrátétképződés a forgácsleválasztás során rezgésforrásként szerepel, és a keletkezett rezgések nyomai észrevehetők a megmunkált felületen. A valóságos felületi érdesség – különösen rezonancia esetén – akár kétszázszorosa is lehet a számítotténak.



Rezgés és érdesség mérés egyetemes esztergán
(013.wmv)

Forrás: Kecskeméti Főiskola GAMF Kar
Gépgyártástechnológia Tanszék
<http://gtt.gamf.hu>

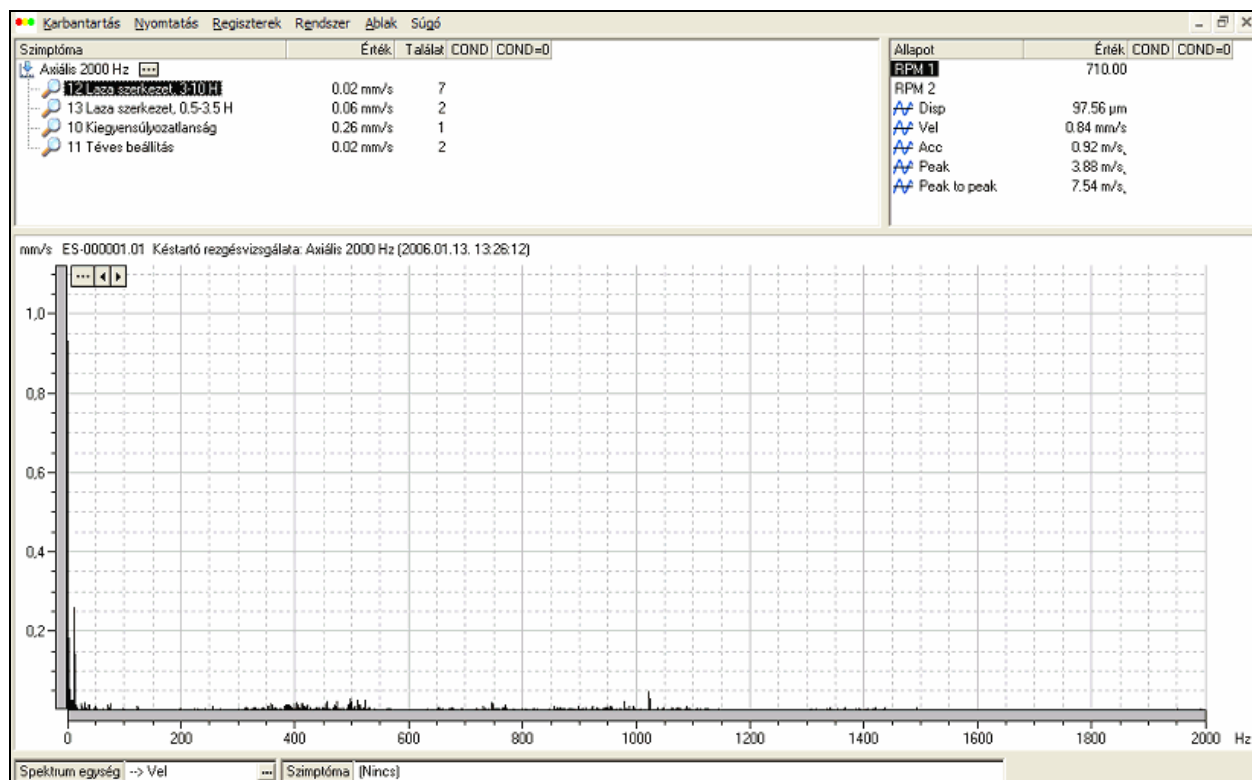
A videofelvétel célja:

A rezgésmérés és érdességmérés bemutatása esztergáláskor.

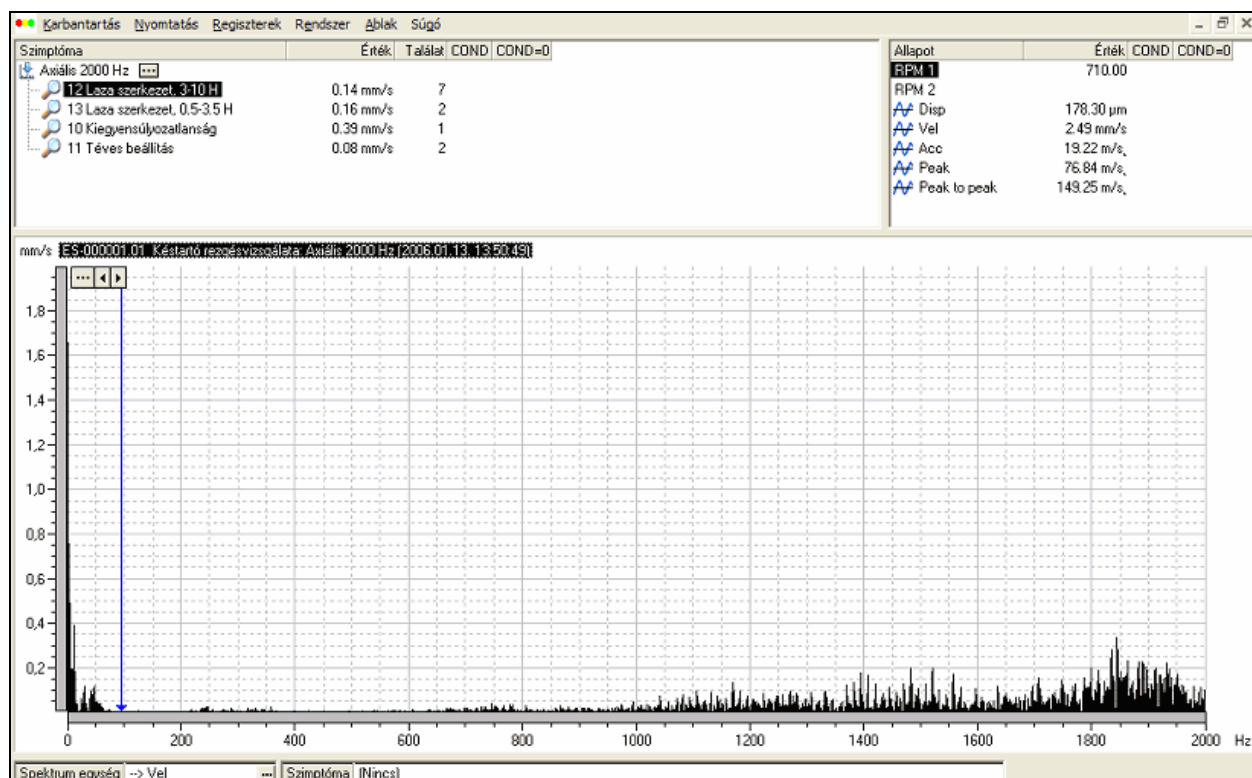
A mérés menete:

1. A technológiai paraméterek beállítása
2. Az érzékelő felhelyezése három merőleges irányba
3. Fogásvétel
4. A rezgéssebesség leolvasása a kézi műszer kijelzőjéről
5. Adatfeldolgozás
6. Érdességmérés hordozható műszerrel
7. Kiértékelés
8. Nyomtatás

	4. FORGÁCSOLÁS		Copyright© 2006 v1.00.20060310
	I. FORGÁCSOLÁSTECHNOLÓGIAI ALAPOK		39. oldal



4.1.7. ábra
Rezgésspektrum hosszsztergáláskor, üresjáratban

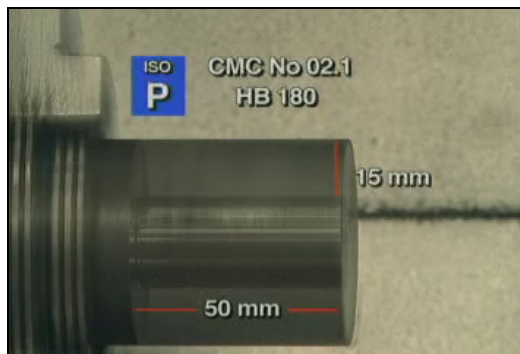


4.1.8. ábra
Rezgésspektrum hosszsztergáláskor, fogásvétel után
($n=710$ ford/min, $a=1$ mm, $f=0,4$ mm/ford, $v=140$ m/min)

4.1.2. Alkalmazási terület

Az esztergálás elsősorban külső és belső forgásfelületek megmunkálására alkalmas technológia azokon az alkatrészekben, amelyeken biztosítható a munkadarab forgó mozgása.

Az elérhető méretpontosság: $IT6...IT8$, a felületi érdesség: $R_a=0,8...20\ \mu m$. A kisebb értékek a finomesztergálást jellemzik.



Nagyoló hosszesztergálás
(014.wmv)

Forrás: AB SANDVIK COROMANT
<http://www.sandvik.com>



Beszúrás, hosszesztergálás
(015.wmv)

Forrás: AB SANDVIK COROMANT
<http://www.sandvik.com>



Belső beszúrás
(016.wmv)

Forrás: AB SANDVIK COROMANT
<http://www.sandvik.com>



Gömbesztergálás
(017.wmv)

Forrás: AB SANDVIK COROMANT
<http://www.sandvik.com>



Homlokbeszúrás
(018.wmv)

Forrás: AB SANDVIK COROMANT
<http://www.sandvik.com>

	4. FORGÁCSOLÁS	Copyright© 2006 v1.00.20060310
	I. FORGÁCSOLÁSTECHNOLÓGIAI ALAPOK	41. oldal

4.1.3. Szerszámanyagok és szerszámkonstrukciók

A hagyományos technológiához a gyorsacél, a keményfém és a kerámia használata jellemző, míg a finomesztergáláshoz főleg szuperkemény anyagú – gyémánt (*D*, *PKD*) és kőbös bór-nitrid (*CBN*) – szerszámokat használnak, de ma már többször előfordul, hogy szuperkemény anyagú szerszámokkal nagyolnak vagy gyorsacéllal és keményfémekkel végeznek finomesztergálást.

A szerszámanyagok néhány, forgácsolási szempontból fontos fizikai tulajdonságát a 4.1.3. táblázat foglalja össze. A táblázatban megadott hőállósági érték azt jelenti, hogy a szerszám egy szűk tűrésen belül e hőfokig megtartja a szobahőmérsékleten mért keménységét és szilárdságát.

Kis forgácskeresztmetszet leválasztásakor igen lényeges a szerszám élessége, nevezetesen az, hogy az él lekerekedési sugara (r_n) minél kisebb legyen. Néhány szerszámanyagon kialakítható lekerekedési sugár minimális nagyságára ad tájékoztatást a 4.1.4. táblázat.

Minden szerszámanyagnak megvan az a jellegzetes alkalmazási területe, ahol a gazdaságosság és a megmunkálási pontosság összhangja legjobban érvényesül (4.1.5. táblázat).

Anyag	Sűrűség ρ g/cm^3	Keménység HV_{30} N/mm^2	Hajlító- szilárdság R_n N/mm^2	Nyomó- szilárdság R_n N/mm^2	Hővezető- képesség $W/(\text{m}^2\text{K})$	Hőállóság $^\circ\text{C}$	Lineáris hőtágulási együttható λ
Gyémánt	3,5	70000	300	3000	150	600	1,2
Kőbös bór-nitrid	3,4	45000	600	4000	40	1500	2,2
Kerámia	3,8...7	14000...24000	300...700	2500...4500	4,2	1300...1800	8,0
Kemény- fém	6...15	13000...17000	800...2200	4000...6000	50	1100...1200	5,0
Gyors- acél	8...8,8	7500...10000	2500...3800	2500...3500	24	600...700	11,0

4.1.3. táblázat
A szerszámanyagok fizikai tulajdonságai

A **gyémánt** megtalálható a természetben, de mesterséges úton is előállítható. A természetes, bányászott gyémántok közül leginkább az egykristályokat használják a forgácsoláshoz, az ultraprecíziós megmunkáláshoz. A mesterséges gyémántot grafitporból szintézissel, vas, nikkel és kobalt katalizátor hozzáadásával, nagy nyomáson (50...100 kbar) és magas hőmérsékleten (1300...1500°C) állítják elő. A keletkezett gyémántszemcséket köszörűkoronghoz, vagy – polikristályos formában – határozott élgeometriájú szerszámokhoz (esztergákés, dörzsár, maró) alkalmazzák.

A **polikristályos gyémánt (PKD)** – hasonlóan a keményfémhez – szinterezéssel, magas hőmérsékleten (1400...2000°C) és nagy nyomáson (60...70 kbar) a mesterségesen előállított gyémántporból készül előfeszített, keményfém betétes szinterező berendezésben. Kötőanyagként kobalttartalmú port használnak. A 0,5...1 mm vastag PKD-réteget vagy közvetlenül az előzsugorított keményfém lapkára, vagy a keményfém lapkához kötött vékony fémlemezre viszik fel, amit a keményfém készrezsugorítása követ. A fémlemezre azért van szükség, hogy a szerszám előállítása során a keményfém alap és a PKD-réteg között kialakuló mechanikai feszültséget csökkentsék.

A PKD-réteg súlya általában néhány karát ($1 \text{ karát} = 0,2 \text{ g}$).

 OKTOPUS	4. FORGÁCSOLÁS	Copyright© 2006 v1.00.20060310
	I. FORGÁCSOLÁSTECHNOLÓGIAI ALAPOK	42. oldal

A PKD váltólapkákat háromszög, négyszög, valamint kör alakban forgalmazzák (4.1.9. ábra), illeszkedve az ISO által előírt formarendszerhez. A lapkák a keményfém lapkák befogására alkalmas késtartókba is befoghatók (4.1.10. ábra).

Szerszámanyag	Minimális lekerekedési sugár r_n [μm]
Monokristályos, természetes gyémánt (D)	< 1
Polikristályos, mesterséges gyémánt (PKD)	3...10
Köbös bór-nitrid (CBN)	5...12
Kerámia	10...20
Keményfém	20...30
Finomkőszőrült keményfém	3...6
Bevonatos keményfém	30...40
Finomkőszőrült gyorsacél	10...20

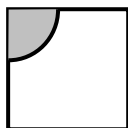
4.1.4. táblázat
A minimálisan elérhető éllekerekedések

Szerszámanyag					
Gyorsacél HSS	Keményfém HW és HC	Kerámia CA és CM	Cermet HT	PKD DP	CBN BN
R3...R11 Ötvöztelen szerkezeti acél Ni és Ni-ötvözetek Al és Al-ötvözetek Cu és Cu-ötvözetek Műanyagok	P01...P50 WC 62...68% TiC 15...33% Co 5...17% Acél és acélöntvény K01...K40 WC 87...97% TiC 1...4% Co 4...12% Öntöttvasak Színesfémek Műanyagok	Általában a fémek, de különösen az öntvények és az edzett vagy nemesített acélok	Acélok, acél- ötvözetek fi- nomesztér- galása, különö- sen a Cr-Mo ötvö- zetek	Színesfémek Könnyűfémek Műanyagok Kompozit anyagok Gránit Homokkő	Nehezen forgácsolható, edzett acélok Öntöttvasak Nihard Stellit

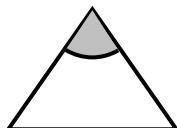
Magyarázat: HSS–gyorsacél; HW–wolfram-karbid keményfém; HC–bevonatos keményfém; CA–alumínium-oxid kerámia; CM–kevert kerámia; HT–cermet; DP–polikristályos gyémánt; BN–polikristályos köbös bór-nitrid (ISO 513 szerinti jelölés).

4.1.5. táblázat
A szerszámanyag alkalmazási területe

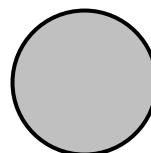
	4. FORGÁCSOLÁS	Copyright© 2006 v1.00.20060310
	I. FORGÁCSOLÁSTECHNOLÓGIAI ALAPOK	43. oldal



SPGN

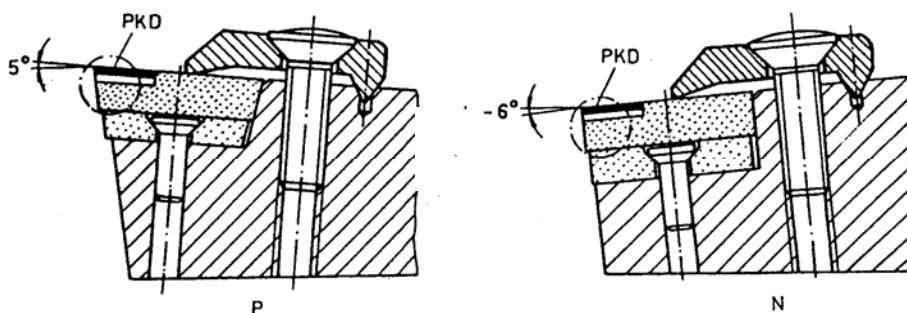


TPGN



RNMN

4.1.9. ábra
Jellegzetes PKD lapkaalakok



4.1.10. ábra
A PKD-lapkákhöz alkalmas pozitív (P) és negatív (N) típusú készsár rögzítési módja

A **köbös bór-nitridet (CBN)** is – a mesterséges gyémánthoz hasonlóan – nagynyomású (50...90 kbar), magas hőmérsékletű (1400...2000°C) szintézissel állítják elő porszerű, hexagonális bór-nitridből (HBN). A katalizátor itt általában lítium.

A *polikristályos köbös bór-nitrid* lapocskák CBN szemcsékből keletkeznek a PKD-hoz hasonló szinterezéssel. A szívósság növelése és a termikus sokkhatások jobb elviselése érdekében adalékanyagként fémeket (W, Co, B) vagy fémkarbidokat (TiC, TiN) használnak. A CBN lapocskákat keménymetál alapra rögzítik. Az így nyert váltólapkák forma- és méretválasztéka, azok rögzítési módja lényegében megegyezik a mesterséges gyémántlapkákéval.

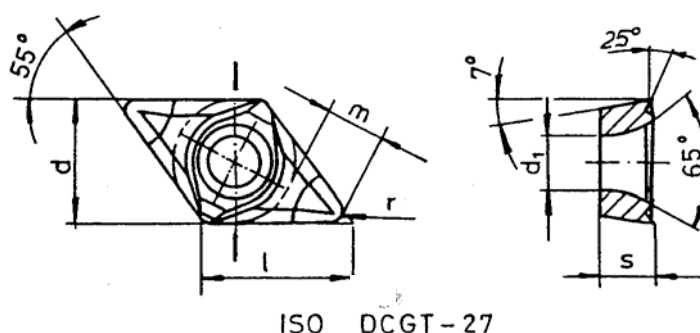


Esztergálás CBN lapkával
(019.wmv)

Forrás: Kecskeméti Főiskola GAMF Kar Gépgyártástechnológia Tanszék
<http://ggt.gamf.hu>

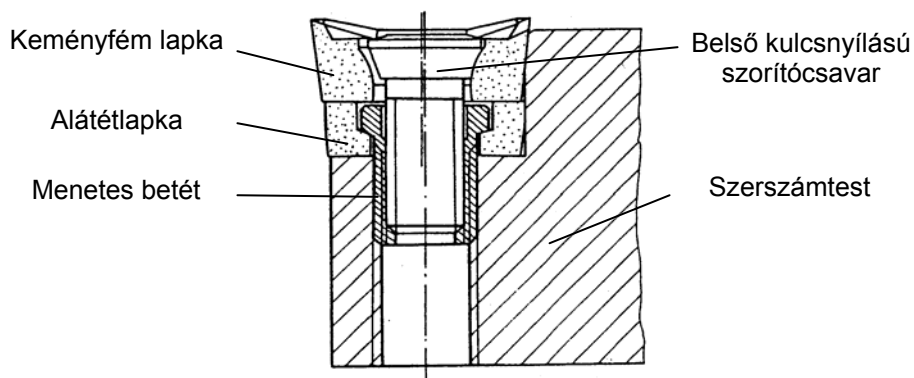
A **keményfém** – ennek is a bevonatos változata – a NC-technikában az esztergáláshoz leggyakrabban használt szerszámanyag. A keményfémet kemény fémkarbidokból (WC, TiC) szinterezéssel állítják elő. Köötőanyaga kobalt, amely csökkenti ugyan a keménységet, de növeli a hajlítószilárdságot. A kopásállóságot növelő bevonatként titán-karbidot (TiC), titán-nitridet (TiN), alumínium-oxidot (Al_2O_3) vagy ezek kombinációját használják (TiCN, TiAlN).

Az Al-, Cu- és Mo-ötvözetek, valamint a műanyagok finomesztergálása is megoldható ma már szerelt keményfém lapkás esztergakésekkel. E szerszámokat a különleges alakú, extra-pozitív élgeometria ($\gamma_n = 25^\circ$, $\alpha_n = 7^\circ$), a szívós anyagú (K10) – esetenként gyémánttal bevont –, finoman megmunkált, éles keményfém lapka (4.1.1. ábra) és az egyszerű, de biztonságos rögzítési mód jellemzi (4.1.12. ábra).



4.1.11. ábra
Extra-pozitív élgeometriájú keményfém lapka

	4. FORGÁCSOLÁS	Copyright© 2006 v1.00.20060310
	I. FORGÁCSOLÁSTECHNOLÓGIAI ALAPOK	45. oldal



4.1.12. ábra
Furatos lapkarögzítés

Az acélok és acélötvözetek, de különösen *Cr-Mo* ötvöztetésű acélok forgácsolásához a **Cermet** (Ceramic Metal) szerszámanyagot ajánlják, melyet a keménymétekhez hasonlóan, porkohászati úton állítanak elő Ni-Mo kötőanyaggal. Bázisa a nagyszemcsézettű, kemény titán-karbid – titán-nitrid (*TiC-TiN*). Előnye a *WC-TiC* bázisú keménymétekkel szemben, hogy a diffúziós kopással szemben ellenállóbb. Alkalmazásakor csökken az élrátét- és a sorjaképződés veszélye, csökken a felület érdessége, és javul a szerszám mérettartása. A *Cermet* lapkákat az ISO előírásoknak megfelelően háromszög és rombusz alakúra sajtolják, és normál, a keménymét lapkák befogására is alkalmas késtartókban rögzítik.

Az öntöttvasak, az edzett és a nemesített acélok esztergálásához a *CBN* mellett – gazdasági szempontokat figyelembe véve – az **oxidkerámia** használata is szóba jöhet. Az oxidkerámia két csoportjának (tisztá és kevert kerámia) alkalmazási területére ad útmutatást a 4.1.6. táblázat.

Szerszámanyag-összetétel		A munkadarab anyaga
Finomforgácsolás	Simítás, nagyolás	
$Al_2O_3 > 80\%$ $TiC / TiN < 20\%$	$Al_2O_3 > 90\%$ $ZrO_2 < 10\%$ $Al_2O_3 > 80\%$ $ZrO_2 < 20\%$	Öntöttvasak Ötvözött szerkezeti acélok (Cr-Mo, MnCr, CrMoV) Gyorsacélok Különleges acélok (NiCr, MoTi, CrW, MnV, CrMoV) Nemesített acélok
$Al_2O_3 > 60\%$ $TiC / TiN < 40\%$		Edzett acélok és kemény öntvények HRC < 65
Tiszta kerámia		Keverter kerámia

4.1.6. táblázat
Az oxidkerámia alkalmazási területe

Az oxidkerámia jellemzője az igen nagy nyomószilárdság, keménység és a kémiai ellenálló képesség, valamint a hőállóság. Adalékanyagok (ZrO_2) felhasználásával az egyébként kis hajlítószilárdsága is megnövelhető. A CBN-del szemben az oxidkerámia alkalmazását a kisebb gyártási költségek indokolják.

Itt kell megjegyezni, hogy a hő- és kopásálló, Ni-bázisú öntvények forgácsolásához ma már ipari körülmények között is széles körben használják a Si_3N_4 alapú, ún. **szilíciumkerámiát**, illetve ennek $TiN-Al_2O_3$ bevonatú változatát. E szerszámanyag ISO 513 szerinti jele: CN.

A kerámia lapkák előállításakor a finom szemcsézetű alapanyagot az adalékanyaggal együtt a megfelelő alakra összepréselik, majd közvetlenül az olvadáspont alá hevítve készre szinterezik.

Az ISO 513 által HSS-el jelölt, az MSZ 4351-72 szabvány szerint R3...R11 jelű **gyorsacélok** Cr, W, Mo, V, Co ötvözőket tartalmaznak. Keménységüket az ötvözők karbidjainak, hőállóságukat a kobaltnak és a különleges hőkezelésüknek (nemesítés) köszönhetik. Fémek és nem fémek megmunkálására egyaránt alkalmasak. Készülnek belőlük alakos esztergakések, csigafúrók, marók, menetfúrók és más különleges szerszámok. Hőállóságuk és kopásállóságuk TiC-TiN bevonattal tovább növelhető.

4.1.4. Technológiai körülmények

A munkadarab geometriai pontosságára és felületi érdességére a környezeten és a szerszámgépen kívül a megmunkálási módnak, a technológiai körülményeknek van igen jelentős hatásuk. A 4.1.7. táblázat a normál és a precíziós, esztergakon végzett forgácsolás technológiai körülményeit hasonlítja össze.

Jellemző	Szokványos esztergálás	Precíziós esztergálás
Alakpontosság	~ 0,01 mm	~ 0,001 mm
Felületi érdesség	$R_a > 1,25 \mu m$	$R_a < 1,25 \mu m$
Méretpontosság	> IT6	< IT6
Forgácsolóerő	$F_v = 1000 \dots 10000 \text{ N}$	$F_v = 1 \dots 1000 \text{ N}$
Forgácskeresztmetszet	$A = 1 \dots 10 \text{ mm}^2$	$A = 0,001 \dots 0,01 \text{ mm}^2$
Forgácsolósebesség	$v_c = 100 \dots 300 \text{ m/min}$	$v_c = 600 \dots 1000 \text{ m/min}$
A szerszám éllekerekedése	$r_n = 20 \dots 30 \mu m$	$r_n = 2 \dots 20 \mu m$

4.1.7. táblázat
A szokványos és a precíziós esztergálás technológiai körülményei

A szerszám hőterhelésének csökkentése érdekében az esztergálás valamennyi változatában szükség lehet hűtő-kenő folyadék adagolására, amely legtöbbször emulzió, azaz víz, olaj és adalékanyagok keveréke. Az emulzió hűtőhatása a víznek, kenőhatása az olajnak köszönhető. A hűtő-kenő folyadékok környezetszennyező és egészségkárosító hatásának csökkentése érdekében ma már sok esetben használnak minimálkenési – minimális mennyiségű hűtő-kenő anyag adagolásával járó – eljárásokat és száraz – hűtő-kenő folyadék nélküli – megmunkálást. Ehhez természetesen szükség van hőálló szerszámok (bevonatos keménységű fémek, CBN szerszámok) alkalmazására is, melyek jól bírják a megnövekedett hőterhelést.



Szárazmegmunkálás, minimálkenés, árasztásos hűtés
(020.wmv)

Forrás: Kecskeméti Főiskola GAMF Kar Gépgyártástechnológia Tanszék
<http://gft.gamf.hu>

4.1.5. A gépi főidő

A műveletelemek gépi főideje a technológiai adatokból számítható:

$$t_{fg} = \frac{L}{v_f} = \frac{L}{f \cdot n} = \frac{L \cdot D}{318 \cdot f \cdot v} \quad [\text{min}] \quad (4.1.9.)$$

ahol

L – a szerszám munkameneti úthossza.



A fordulatszám növelésével nő az előtolósebesség és csökken a gépi főidő
(021.wmv)

Forrás: AB SANDVIK COROMANT
<http://www.sandvik.com>

Ellenőrző kérdések

1. Ismertesse az esztergálás mozgás- és erőviszonyait!
2. Ismertesse az esztergakés élgeometriáját!
3. Hogyan számítjuk az esztergálás erő- és teljesítményszükségletét?
4. Hogyan határozzuk meg a szerszám éltartamát?
5. Hogyan alakul esztergáláskor az elméleti felületi érdesség?
6. Milyen fémesztergáláshoz használható szerszámanyagokat ismer? Jellemezze azokat!
7. Rajzoljon példát mechanikus lapkarögzítésre!
8. Hogyan számítható az esztergálási főidő?

	4. FORGÁCSOLÁS	Copyright© 2006 v1.00.20060310
	I. FORGÁCSOLÁSTECHNOLÓGIAI ALAPOK	48. oldal

4.1.6. Számítási példák

I. feladat

A forgácsolási teljesítmény és a gépi főidő számítása

Kiinduló adatok

Technológiai változat: hosszesztergálás.

A munkadarab anyaga: Fe 490-2

A munkadarab geometriája: hosszúság $L=1000$ mm, kiinduló átmérő $D=180$ mm, a kész átmérő $d=176$ mm.

A nyers munkadarab állapota: kovácsolt.

A keményfém lapka minősége: P 20.

A szerszám geometriája: $\chi_r = 75^\circ$, $\gamma_o = +6^\circ$, $\alpha_o = 5^\circ$.

A előírt szerszáméltartam: $T=30$ min.

Technológiai adatok: $f=0,5$ mm/ford, $a=2$ mm.

Az eszterga főhajtásának hatásfoka: $\eta=0,8$.

Felvett és számított adatok

1. A forgácskeresztmetszet:

$$A=1 \text{ mm}^2 \quad (4.1.3)$$

2. A forgácsolósebesség és a fordulatszám, a korrekciós tényezőket is figyelembe véve:

$$v_c = 82 \text{ m/min}, n=322 \text{ ford/min.} \quad (4.1.8), (4.1.1)$$

3. A főforgácsoló erő:

$$F_v = 2501 \text{ N} \quad (4.1.5)$$

4. A forgácsolási teljesítmény:

$$P_c = 7,59 \text{ kW} \quad (4.1.7)$$

5. A szükséges villamos teljesítmény a hatásfok figyelembevételével:

$$P = P_c / \eta = 9,5 \text{ kW}$$

6. A gépi főidő:

$$t_{fg} = 6,21 \text{ min} \quad (4.1.9)$$

II. feladat

A felületi érdesség számítása

Kiinduló adatok

Az I. feladat forgácsolási körülményei közt $r_\epsilon=0,8$ mm csúcssugarú esztergakést használunk.

Számított adatok

Az elméleti maximális felületi érdesség:

$$R_{\max,el} \cong f^2 / (8 \cdot r_\epsilon) = 0,039 \text{ mm} = 39 \mu\text{m} \quad (4.1.5. \text{ ábra})$$

	4. FORGÁCSOLÁS	Copyright© 2006 v1.00.20060310
	I. FORGÁCSOLÁSTECHNOLÓGIAI ALAPOK	49. oldal

4.2. Fúrás

A fúrás belső forgásfelületek (henger, kúp stb.) megmunkálására alkalmas technológia.

4.2.1. Technológiai alapok

Fúraskor szabályos élgeometriájú, többélű (csigafúróknál két főél és egy keresztél) szerszám folyamatosan, állandó forgácskeresztmetszetet választ le, miközben n fordulatszámmal forog, és v_f előtoló sebességgel halad a szerszám tengelyének irányába (4.2.1.a) ábra). A fogásmélység (a) egy élre a furatátmérő (D) fele. A forgácsolósebesség (v_c) a fúró külső átmérőjén a legnagyobb, és a középpont felé haladva nullára csökken.

A forgácsolósebesség (a legnagyobb forgácsolósebesség):

$$v_c = D \cdot n \cdot \pi / 1000 \quad [\text{m/min}] \quad (4.2.1.)$$

Az előtolósebesség:

$$v_f = n \cdot f = n \cdot f_z \cdot z \quad [\text{mm/min}] \quad (4.2.2.)$$

ahol

f_z – az egy élre eső előtolás,

z – a főélek száma,

f – az egy szerszámfordulatra eső előtolás.

Az egy élre jutó forgácskeresztmetszet:

$$A_z = f_z \cdot a = f_z \cdot D/2 \quad [\text{mm}^2] \quad (4.2.3.)$$

ennek alapján számítható a főforgácsoló erő:

$$F_{v1} = k \cdot A_z = k_{s1.1} \cdot f_z^{1-z} \cdot (D/2) \cdot (\sin \kappa_r)^{-z} \quad [\text{N}] \quad (4.2.4.)$$

A fajlagos forgácsolóerő ($k_{s1.1}$) és a z kitevő értékeire tartalmaz adatokat a 4.2.1. táblázat.

Anyag	$k_{s1.1}$ [N/mm ²]	z	Anyag	$k_{s1.1}$ [N/mm ²]	z
Fe 490 (C45)	1960	0,18	16 Mn Cr 5	2020	0,17
C 15	1780	0,35	250 (Öv 250)	1160	0,26
C 60	2200	0,13	X12CrNi 189	2690	0,18

4.2.1. táblázat

A fajlagos forgácsolóerő és a kitevő értékei

A szerszámra ható főforgácsoló erő tengelyszimmetrikus élkialakítás esetén:

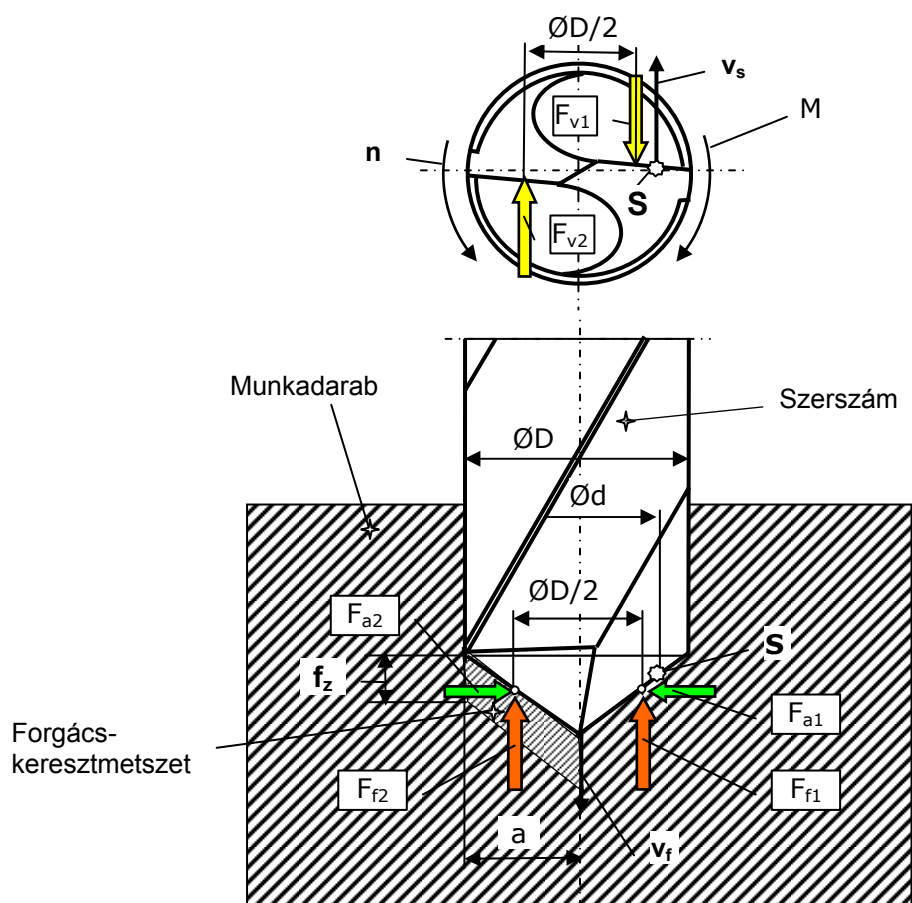
$$F_v = 2 \cdot F_{v1} \quad [N] \quad (4.2.5.)$$

Az erőkomponensek arányára szerkezeti acélok fúrásakor – tapasztalati adatok alapján – felírható, hogy:

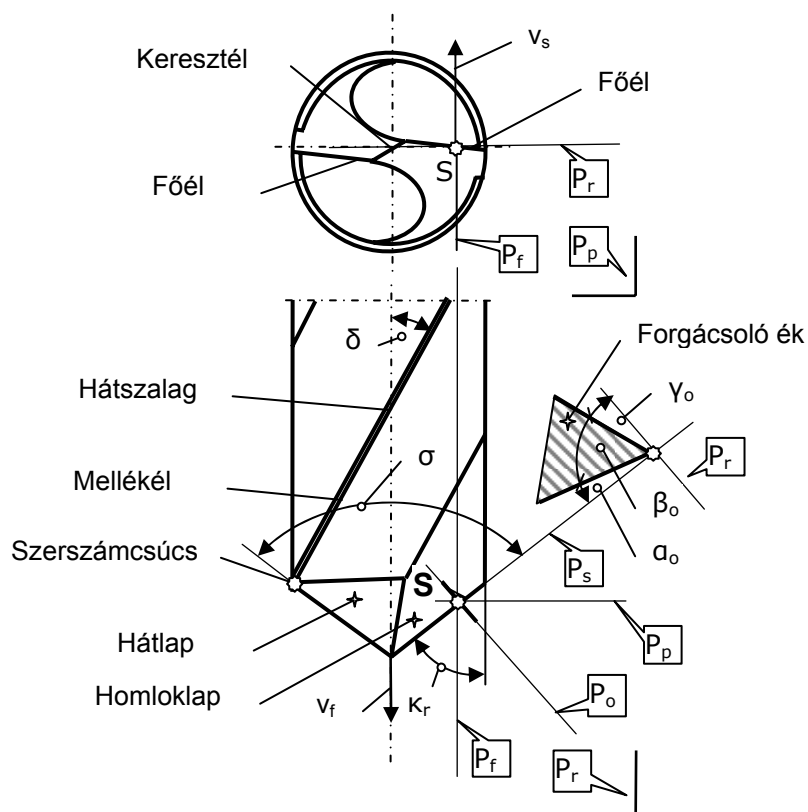
$$F_v \cong F_f \cong 2 \cdot F_a \quad [N] \quad (4.2.6.)$$

ahol szimmetrikus élkialakításra:

$$F_f = 2 \cdot F_{f1} \text{ és } F_a = 2 \cdot F_{a1} \quad [N]$$



4.2.1. a) árba
A fúrás mozgás- és erőviszonyai



4.2.1. b) ábra
A szerszám élgeometriája

A forgácsolási teljesítmény:

$$P_c = F_{v1} \cdot v_c \quad [W] \quad (4.2.7.)$$

A fúrót terhelő nyomaték:

$$M = F_{v1} \cdot (D/2)/1000 \quad [Nm] \quad (4.2.8.)$$

A 4.2.1. b) ábrán egy csigafúró egyik főélének kijelölt S pontjában fel vannak tüntetve a szerszámmeghatározó szögrendszer síkjai, és az ortogonál metszetben a forgácsoló ék, megjegyezve, hogy v_s az S pontbeli forgácsolósebesség, melyre igaz, hogy $v_c > v_s > 0$.

A csigafúrók homlokszöge a szerszám hegye (a keresztél) felé haladva folyamatosan csökken, és a keresztélen akár $\gamma_f = -50^\circ \dots -60^\circ$ is lehet. Ez, ha tömör anyagba készítünk furatot, a nagy hőterhelés és a rossz hűtési lehetőség miatt igen lerontja a szerszám forgácsolóképességét.



Erő és nyomatékmérés fúráskor
(022.wmv)

Forrás: Kecskeméti Főiskola GAMF Kar
Gépgyártástechnológia Tanszék
<http://gtt.gamf.hu>

A videofelvétel célja:

Erő és nyomatékmérés bemutatása piezokristályos mérőműszerrel, érintésnélküli jelátvitellel.

A mérés menete:

1. A technológiai paraméterek beállítása
2. Fúrás
3. A diagrammok megtekintése a képernyőn
4. Adatfeldolgozás
5. Nyomtatás

TDK

Page 1 of 1

Printed on 19. December 2003 at 10:55

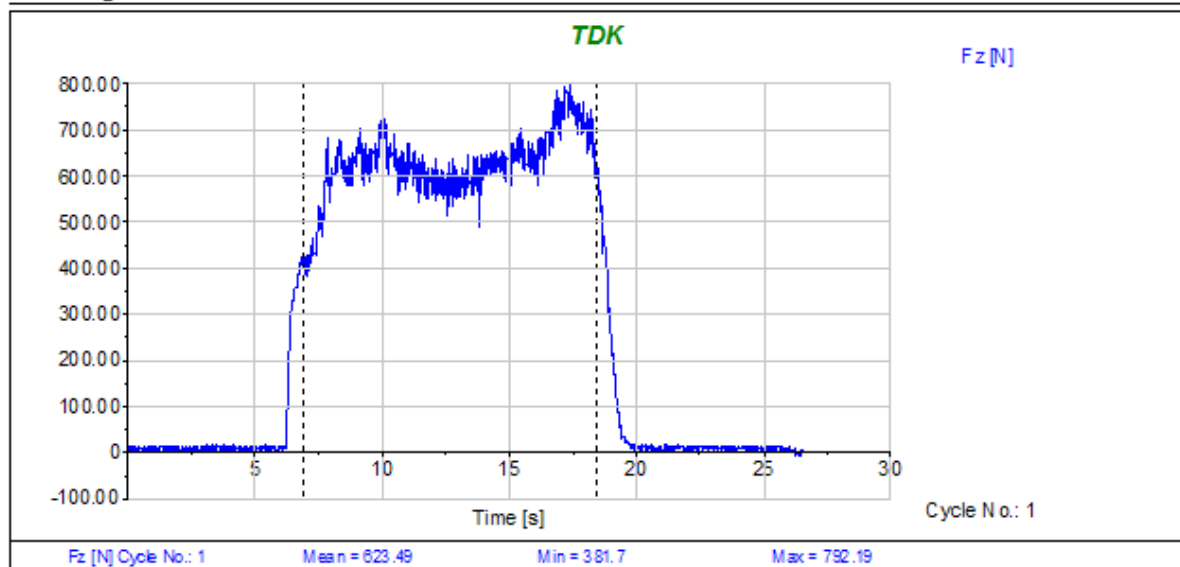
Measuring File

Path: c:\program files\Kistler\Dynoware\data\mess.dat.dwd
Cycle: 1 of 1
Date: Friday, 19 December, 2003 10:38:30
Size: 70836 Bytes

Documentation

Remark: Száraz
L=20mm
Material: C 45
Tool: Csigaűró (TiN bevonatos, belső hűtéses)
vc = 31,41 m/min f = 0.1 mm/rev ap = 10 mm
n = 1000 rpm vf = 100 mm/min ae = - mm

Measuring Data



4.2.2. ábra
Az előtolóerő alakulása az idő függvényében

	4. FORGÁCSOLÁS		Copyright© 2006 v1.00.20060310
	I. FORGÁCSOLÁSTECHNOLÓGIAI ALAPOK		53. oldal

Measuring File

Path: c:\program files\Kistler\DynaWare\data\mess.dat.dwd
 Cycle: 1 of 1
 Date: Friday, 19 December, 2003 10: 15: 17
 Size: 70 836 Bytes

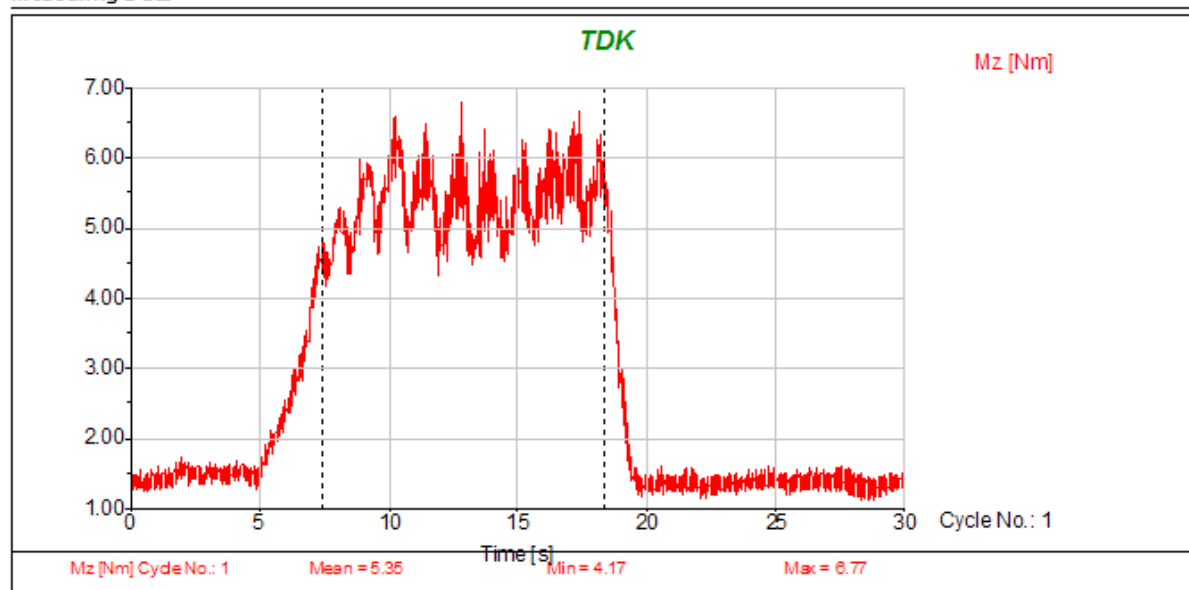
Documentation

Remark: Száraz
 L=20mm
 Material: C45
 Tool: Csigafró (TiN bevonatos, belső hűtés)

$v_c = 31,41$ m/min
 $n = 1000$ rpm

$f = 0,1$ mm/rev
 $v_f = 100$ mm/min

$a_p = 10$ mm
 $a_e = \text{--}$ mm

Measuring Data

4.2.3. ábra

A fúrási nyomaték alakulása az idő függvényében

4.2.2. Alkalmazási terület

Gépalkatrészekben furatok igen nagy számban fordulnak elő és sokszor átmeneti jellegűek, azaz eredeti formában nem maradnak véglegesen az alkatrészen (pl. menetfúrásakor maglyuk készítése). Tömör munkadarabba legtöbbször hengeres furatokat készítünk, de ún. kombinált szerszámmal alakos furatok (pl. központfurat) is kialakíthatók. Előfordul, hogy egyszerű fúrószerszámmal (csigafróval) már előfúrt furatot bővítünk.

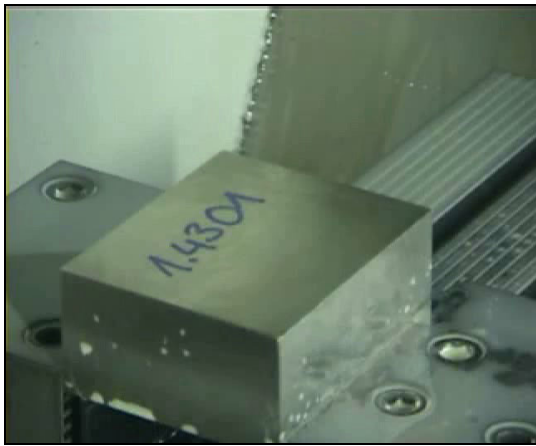
Belső felületek megmunkálása általában nehezebb a külsőkénél, mert nehezebb a forgács leválasztása és a forgácsleválasztási zóna hűtése-kenése. Ezért hosszú furatok fúrására ($l/d > 5$) speciális szerszámokat használnak, speciális technológiával.

A normál hosszúságú furatok ($l/d < 3...5$) készítésekor csigafróval elérhető méretpontosság: IT 10...IT13, a felületi érdesség: $R_a > 20 \mu m$, míg keményfém lapkás fróval: IT9...IT10, illetve $R_a < 10 \mu m$. Az alakpontosságot elsősorban a szerszámok pontossága, a furatok helyzetpontosságát a szerszámgép állapota vagy a fúrókészülék pontossága határozza meg.

**4. FORGÁCSOLÁS****I. FORGÁCSOLÁSTECHNOLÓGIAI ALAPOK**

Copyright©
 2006
 v1.00.20060310

54. oldal



Telibefúrás
(023.wmv)

Forrás: FRAISA SA
<http://www.fraisa.com>



Menetfúrás
(024.wmv)

Forrás: FRAISA SA
<http://www.fraisa.com>

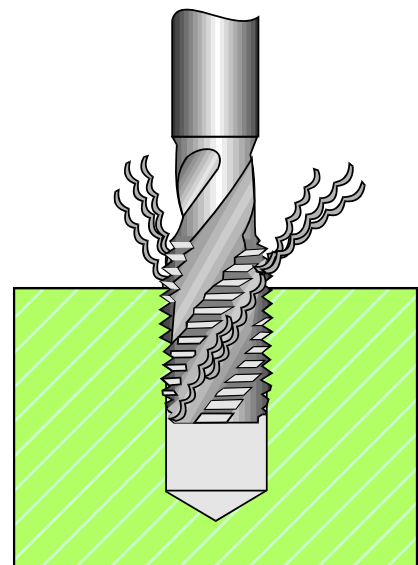
4.2.3. Szerszámanyagok és szerszámkonstrukciók

Manapság is a leggyakrabban használt fúrószerszám a csigafúró, amelyet $0,05...75\text{ mm}$ átmérőtartományban készítenek. Anyaga gyorsacél vagy keményfém. A gyorsacél fúrókat a kopásállóság és a hőállóság növelése érdekében gyakran *PVD* (*Physical Vapor Deposition*) eljárással, *TiN* bevonattal látják el, de egyre növekszik a *TiCN* és a *TiAlN* bevonatú szerszámok használatának részaránya is. A keményfém szerszámokhoz – a *TiC-TiN* vagy más kombinált bevonatok felvitelére – a magasabb hőmérsékletű, jobb tapadást biztosító *CVD* (*Chemical Vapor Deposition*) módszert alkalmazzák. A bevonatolt szerszámok teljesítőképessége a bevonat nélkülinek akár 5...10-szerese is lehet.



Bevonatos keményfém csigafúrók

Forrás: TITEX TOOLS Ltd.
<http://www.titex.com>

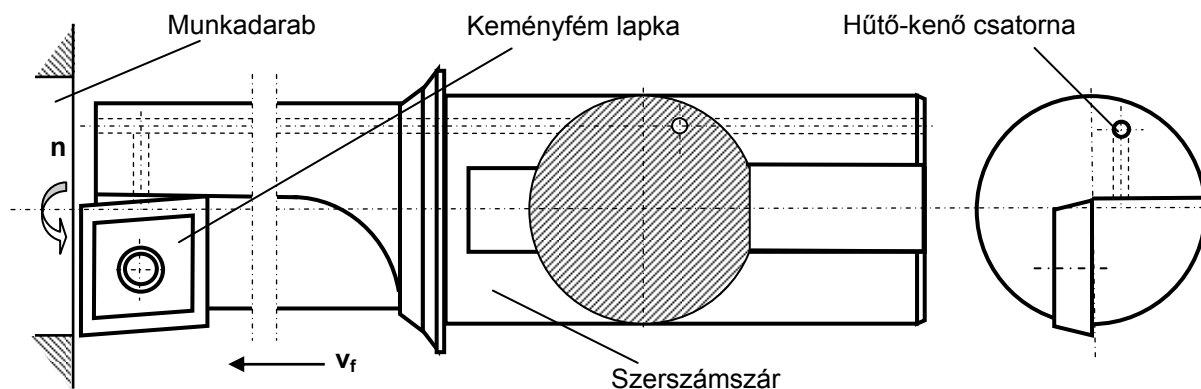


Bevonatos keményfém csigafúrók

Forrás: TITEX TOOLS Ltd.
<http://www.titex.com>

	4. FORGÁCSOLÁS		Copyright© 2006 v1.00.20060310
	I. FORGÁCSOLÁSTECHNOLÓGIAI ALAPOK		55. oldal

A csigafúrók élének nagy hőterhelése hűtő-kenő folyadék adagolásával (emulzió, fúróolaj) csökkenthető. Ma már gyakran használnak olyan szerszámokat, melyek olyan belső hűtő-kenő csatornákkal rendelkeznek, amelyek közvetlenül az élhez vezetik a hűtő-kenő folyadékot. Az automatizált gyártásban 2...5-szörösére növelhető a forgácsleválasztási teljesítmény, ha a $d=12...55\text{ mm}$ tartományban, $l=(1,5...5)d$ furatmélységekre a hagyományos kivitelű csigafúrók helyett keményfém lapkás fúrot használnak (4.2.4. ábra), mert az ilyen kialakítású szerszámokkal homlok-, valamint külső és belső hengeres felületet is esztergálhatunk. A hűtő-kenő folyadék csatornáin át a közvetlenül a lapkaélekhez juttatott $p=2...8\text{ bar}$ nyomású emulzió feladata a hűtés-kenésen kívül a forgács eltávolítása is.



4.2.4. ábra
Keményfém lapkás telibefúró szerszám



Telibefúrás
(025.wmv)

Forrás: INDEX
<http://www.index-werke.de>

Az $l=(5...35)d$ mérettartományba eső hosszú furatok, többszöri fúrókiemeléssel, extra hosszú csigafúrókkal is készíthetők. A fúrókiemelések száma a következő empirikus összefüggéssel számítható:

$$i = (l - 2,5 \cdot d) / d \quad (4.2.9.)$$

ahol, l – a furat hossza.

	4. FORGÁCSOLÁS	Copyright© 2006 v1.00.20060310
	I. FORGÁCSOLÁSTECHNOLÓGIAI ALAPOK	56. oldal

4.2.4. Technológiai ajánlások

Fúráskor a technológiai paraméterek számításához a *Taylor-egyenlethez* hasonló összefüggés használata – a szinte megszámlálhatatlanul sok éltartamot befolyásoló tényező miatt – nem szokásos. A 4.2.2. táblázat az $l/d < 5$ geometriájú furatok készítéséhez ad ajánlásokat gyorsacél csigafúrókra és keményfém lapkás fúrókra. A *TiN* bevonatú csigafúrókra a forgácsolósebesség 75%-kal, az előtolás 50%-kal megnövelhető.

Anyag	Szer-szám	v, $\frac{m}{min}$	Előtolás, f, mm/ford Átmérő, d, mm				Anyag	Szer-szám	v, $\frac{m}{min}$	Előtolás, f [mm/ford] Átmérő, d [mm]			
			1	2,5	10	25				1	2,5	10	25
C15 Fe355 Fe490	HSS Ke.- fém	26 110	kézi 0,01	0,05 0,01	0,18 0,08	0,28 0,18	200 (Öv 200)	HSS Ke.- fém	20 90	kézi 0,01	0,08 0,02	0,22 0,12	0,35 0,2
16Mn Cr5	HSS Ke.- fém	23 90	kézi 0,01	0,04 0,02	0,16 0,08	0,25 0,16	Bronz, Cu Zn37	HSS Ke.- fém	40 120	kézi 0,02	0,05 0,02	0,22 0,1	0,32 0,25
X12 CrNi 189	HSS Ke.- fém	10 30	kézi 0,01	0,03 0,01	0,14 0,05	0,21 0,1	Bakelit	HSS Ke.- fém	10 90	kézi 0,02	0,04 0,03	0,16 0,1	0,3 0,25

4.2.2. táblázat
Technológiai ajánlások telibefúráshoz

4.2.5. A gépi főidő számítása

Fúráskor a gépi főidő számításához a következő összefüggés használható:

$$t_{fg} = \frac{L}{n \cdot f} = \frac{L \cdot D}{318 \cdot v_c \cdot f} \quad [\text{min}] \quad (4.2.10.)$$

ahol

L – a fúró munkameneti úthossza a ráfutással és a túlfutással (átmenőfuratnál a fúró hegyének kifutását is beleszámítva),

D – a furat átmérője,

v_c – a forgácsolósebesség,

f – a fordulatonkénti előtolás.

A munkameneti hossz átmenőfuratra (4.2.5. ábra):

$$L = l + l_{rt} + \frac{D/2}{\tan(\sigma/2)} \quad [\text{mm}] \quad (4.2.11.)$$

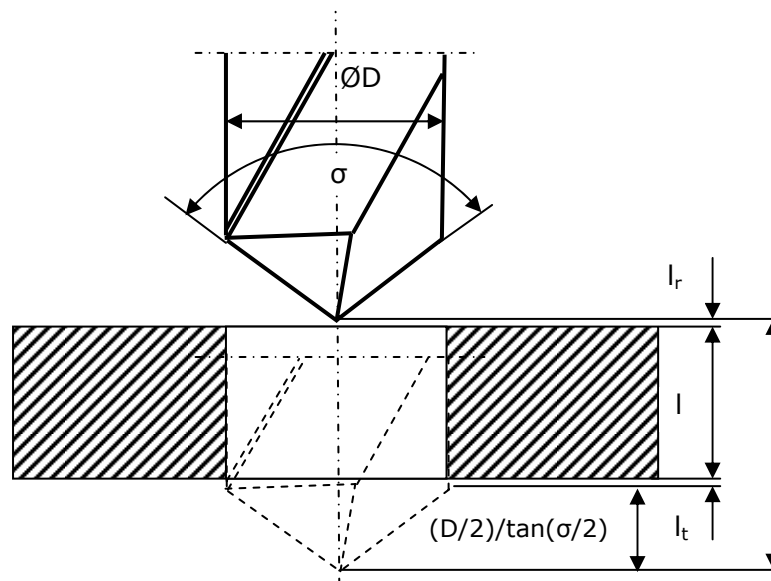


ahol

l – a furat hossza,

l_{rt} – a ráfutás és a túlfutás,

σ – a fúró hegyének kúpszöge.



4.2.5. ábra
Átmenő furat munkameneti úthossza

Ellenőrző kérdések

1. Ismertesse a fúrás mozgás- és erőviszonyait, valamint a szerszám élgeometriáját!
2. Hogyan számítjuk a fúrás erő-, nyomaték- és teljesítményszükségletét?
3. Rajzoljon példát szerelt lapkás telibefúróra!
4. Hogyan számítható a fúrási főidő?

4.2.6. Számítási példa

Kiinduló adatok

A munkadarab anyaga: 16MnCr5.

A munkadarab geometriája: lemezvastagság 25 mm, furatátmérő $D=10$ mm.

A szerszám jellemzői: gyorsacél csigafúró, $d=\varnothing 10$ mm, $\sigma = 118^\circ$.

A telibefúrás rá- és túlfutási hossza 1-1 mm.

A szerszám gép főhajtóművének hatásfoka: $\eta=0,8$.

Felvett és számított adatok

1. A forgácsolósebesség és fordulatszám:

$$v_c = 23 \text{ m/min}$$

(4.2.2. táblázat)

$$n = 730 \text{ ford/min}$$

(4.2.1)

2. Az előtolás:

$$f = 0,16 \text{ mm/ford}$$

(4.2.2. táblázat)

3. Az egy élre eső főforgácsoló erő:

$$F_{v1} = 1272 \text{ N} \quad (4.2.4), (4.2.1. \text{ táblázat})$$

4. A forgácsolási teljesítmény:

$$P_c = 0,49 \text{ kW} \quad (4.2.7)$$

5. A szükséges villamos teljesítmény a hatásfok figyelembevételével:

$$P = 0,61 \text{ kW}$$

6. A fúrási nyomaték:

$$M = 6,4 \text{ Nm} \quad (4.2.8)$$

7. A gépi főidő:

$$L = 25 + 2,88 + 2 = 29,9 \text{ mm} \quad (4.2.11)$$

$$t_{fg} = 0,25 \text{ min} \quad (4.2.10)$$

4.3. Marás

A marási technológiát elsősorban sík felületek alak-, méret- és helyzetpontosságának, valamint felületi érdességének javítására használják. Szerszáma általában többélű, szabályos élgeometriájú marófej (homlokmarás) vagy marótest (palástmarás).

4.3.1. Technológiai alapok

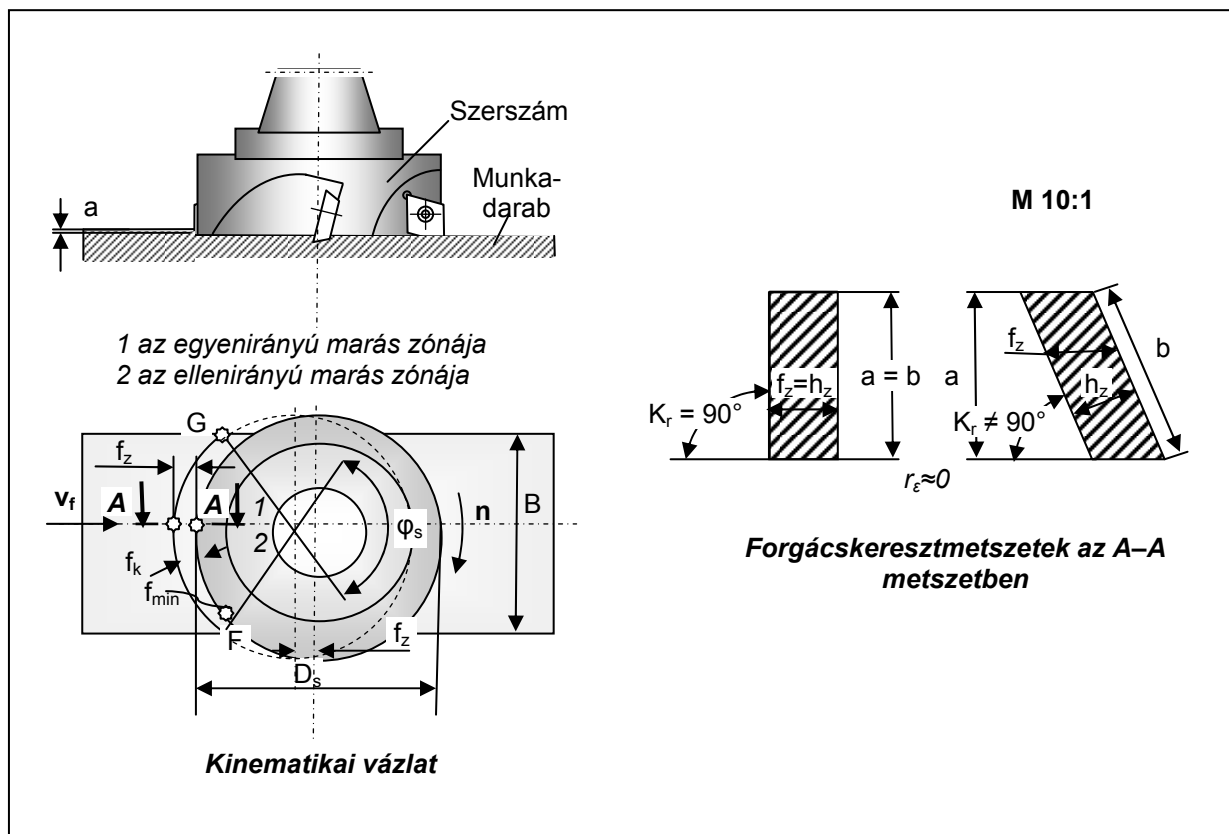
A megmunkálás méretpontossága IT6...IT8-ra tehető, az elérhető felületi érdesség: $R_a = 0,63 \dots 10 \mu\text{m}$. Az alacsonyabb értékek a finommarási technológiát jellemzik.

A marásnak a szerszám és a munkadarab viszonylagos helyzete szempontjából két fajtája ismeteres: a homlokmarás és a palástmarás. Homlokmaráskor a maró tengelye merőleges a megmunkált felületre, míg palástmaráskor párhuzamos a megmunkált felülettel.

A homlokmarás kinematikáját mutatja a 4.3.1. ábra. A forgácsvastagság nem egyenletes: a radiális előtolás $f_{\min}$ -ről f_z -re nő, majd újra csökken. Egy-egy fognál a $h_z = f_z \cdot \sin \kappa_r$ ($\kappa_r = 90^\circ \rightarrow h_z = f_z$) tovább csökken, és a csúcson – hasonlóan az esztergáláshoz – nulla lesz.

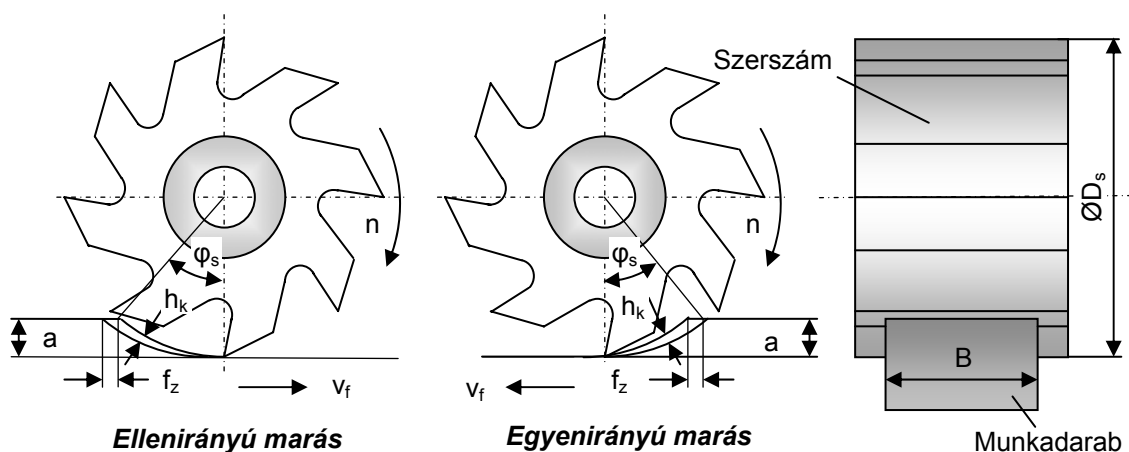
A ábrán bejelölt egyenirányú marási zónára (1) az a jellemző, hogy a forgácsolósebesség előtolás irányú komponense azonos a munkadarab v_f mozgásirányával, míg az ellenirányú zónában (2) ez fordított.

	4. FORGÁCSOLÁS	Copyright© 2006 v1.00.20060310
	I. FORGÁCSOLÁSTECHNOLÓGIAI ALAPOK	59. oldal



4.3.1. ábra
A homlokmarás kinematikája és a forgácskeresztmetszet

Az egy fog által leválasztott forgácskeresztmetszet palástmaráskor is állandóan változik (4.3.2. ábra). Ellenirányú maráskor folyamatosan növekszik, míg egyenirányúnál folyamatosan csökken. Az ábra olyan szerszámot mutat, melynek élei párhuzamosak a tengellyel. Ez az ún. egyenes élű palástmaró. A ferde élű palástmaró élei a palástfelületen, csavarvonal mentén helyezkednek el, és egyenletesebb forgácsleválasztást biztosítanak, mivel fokozatosan lépnek fogásba.



4.3.2. ábra
Az ellenirányú és az egyenirányú palástmarás

A 4.3.3. ábra a homlok- és a palástmaró élgeometriáját szemlélteti az egyik él kiválasztott S pontjában, feltüntetve a forgácsolóerő komponenseit is.

A forgácsolósebesség a szerszámtátmérőből (D_s) és a fordulatszámából (n) számítható:

$$v_c = D_s \cdot n \cdot \pi / 1000 \quad [\text{m/min}] \quad (4.3.1.)$$

Az előtolósebesség:

$$v_f = n \cdot f_z \cdot z_m \quad [\text{mm/min}] \quad (4.3.2.)$$

ahol

f_z – a fogankénti előtolás,

z_m – a maró fogszáma.

A forgácsolóerő meghatározására – pl.: a gyártóeszközök szilárdsági ellenőrzéséhez – főleg a nagyobb forgácskeresztmetszetek leválasztásakor, nagyoláskor van szükség.

A közepes főforgácsoló erő *homlokmaráskor*:

$$F_v = F_{v1} \cdot \psi = a \cdot h_k^{1-z} \cdot k_{s1.1} \cdot \sin \kappa_r^{-1} \cdot \psi \quad [\text{N}] \quad (4.3.3.)$$

ahol

F_{v1} – az egy fogra eső főforgácsoló erő átlagos értéke,

ψ – a kapcsolószám (az egy időben fogásban lévő fogak száma),

a – a fogásmélység,

$h_k = f_k \cdot \sin \kappa_r$ – a közepes forgácsvastagság (nagyoláskor, ha $a \gg r_\epsilon$),

z – a kitevő,

$k_{s1.1}$ – a fajlagos forgácsolóerő.

A 4.3.1. ábrán bejelölt (1) és (2) zóna φ_s kapcsolási szögéhez tartozó kapcsolószám:

$$\psi = \varphi_s \cdot z_m / 360^\circ \quad (4.3.4.)$$

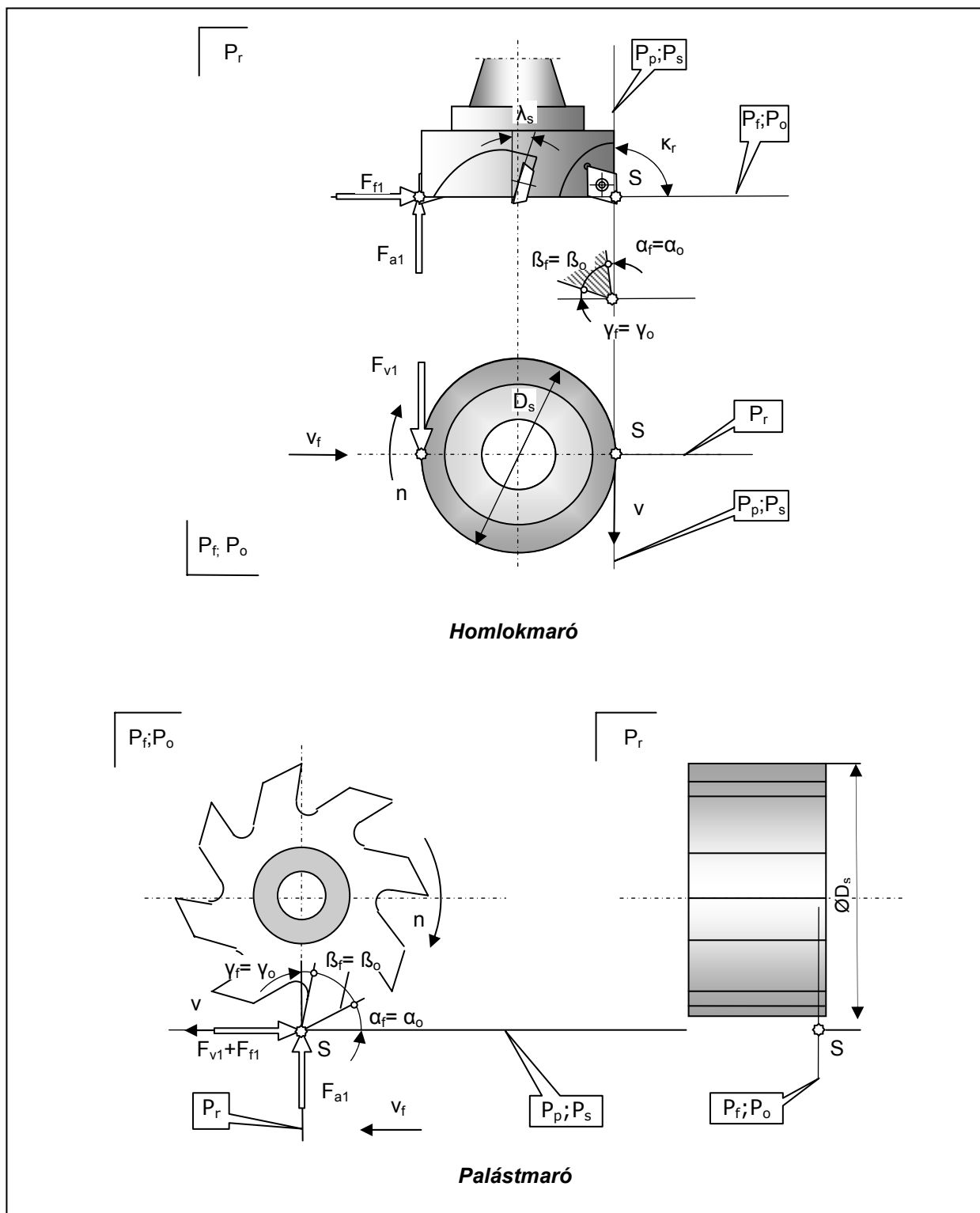
A közepes forgácsvastagság szimmetrikus maró és munkadarab elhelyezéskor:

$$f_k = 114,6 \cdot f_z \cdot (B/D_s) \cdot \varphi_s^{-1} \quad [\text{mm}] \quad (4.3.5.)$$

ahol

B – a mart munkadarab szélessége,

$\sin(\varphi_s/2) = B/D_s$ – a kapcsolási szög felének szinusza.



4.3.3. ábra
A homlok- és a palástmaró élgeometriája a szerszámmeghatározó rendszerben



Homlokmarás
(026.wmv)

Forrás: Kecskeméti Főiskola GAMF Kar
Gépgyártástechnológia Tanszék
<http://gtt.gamf.hu>



Palástmarásmarás
(027.wmv)

Forrás: Kecskeméti Főiskola GAMF Kar
Gépgyártástechnológia Tanszék
<http://gtt.gamf.hu>

A főforgácsoló erő meghatározásához és az azt követő szilárdsági számításokhoz a 4.3.1. táblázat adatai használhatók.

A *homlokmarás* forgácsolási teljesítménye:

$$P_c = F_v \cdot v_c \quad [W] \quad (4.3.6.)$$

Anyag	z	$k_{s1.1}$ [N/mm ²]	Anyag	z	$k_{s1.1}$ [N/mm ²]
Fe 490	0,19	1390	X12CrNi189	0,26	1450
C60	0,14	1430	250 (Öv250)	0,34	760
16MnCr5	0,19	1440	Bronz Cu Zn40Pb20	0,34	500

4.3.1. táblázat
A kitevő és a fajlagos forgácsolóerő értékei homlokmaráskor

A közepes forgácsolóerő *palástmaráskor*, egyenes élű szerszámra:

$$F_v = F_{v1} \cdot \psi = B \cdot h_k^{1-z} \cdot k_{s1.1} \cdot \psi \quad [W] \quad (4.3.7.)$$

A kitevő és a fajlagos forgácsolóerő értékei jó közelítéssel egyeznek a homlokmarásával (4.3.1. táblázat).

A kapcsolószám:

$$\psi = \varphi_s \cdot z_m / 360^\circ \quad (4.3.8.)$$

ahol

$\cos \varphi_s = 1 - (2 \cdot a / D_s)$ – a kapcsolószög koszinusza.

A közepes forgácsvastagság:

$$h_k = 114,6 \cdot f_z \cdot a / (D_s \cdot \varphi_s) \quad [\text{mm}] \quad (4.3.9.)$$

A forgácsolási teljesítmény *palástmaráskor*:

$$P_c = F_v \cdot v_c \quad [\text{W}] \quad (4.3.10.)$$



Erő és nyomatékmérés maráskor
(028.wmv)

Forrás: Kecskeméti Főiskola GAMF Kar
Gépgyártástechnológia Tanszék
<http://ggt.gamf.hu>

A videofelvétel célja:

Erő és nyomatékmérés bemutatása maráskor piezokristályos mérőműszerrel, érintésnélküli jelátvitellel.

A mérés menete:

1. A technológiai paraméterek beállítása
2. Marás
3. A diagrammok megtekintése a képernyőn
4. Adatfeldolgozás
5. Nyomtatás

	4. FORGÁCSOLÁS	Copyright© 2006 v1.00.20060310
	I. FORGÁCSOLÁSTECHNOLÓGIAI ALAPOK	64. oldal

Measuring File

Path: D:\Helyi_dokumentumok\IE\20\messdat.dwd
 Cycle: 1 of 1
 Date: Tuesday, 10 January, 2006 14: 11: 20
 Size: 206 836 Bytes

Documentation

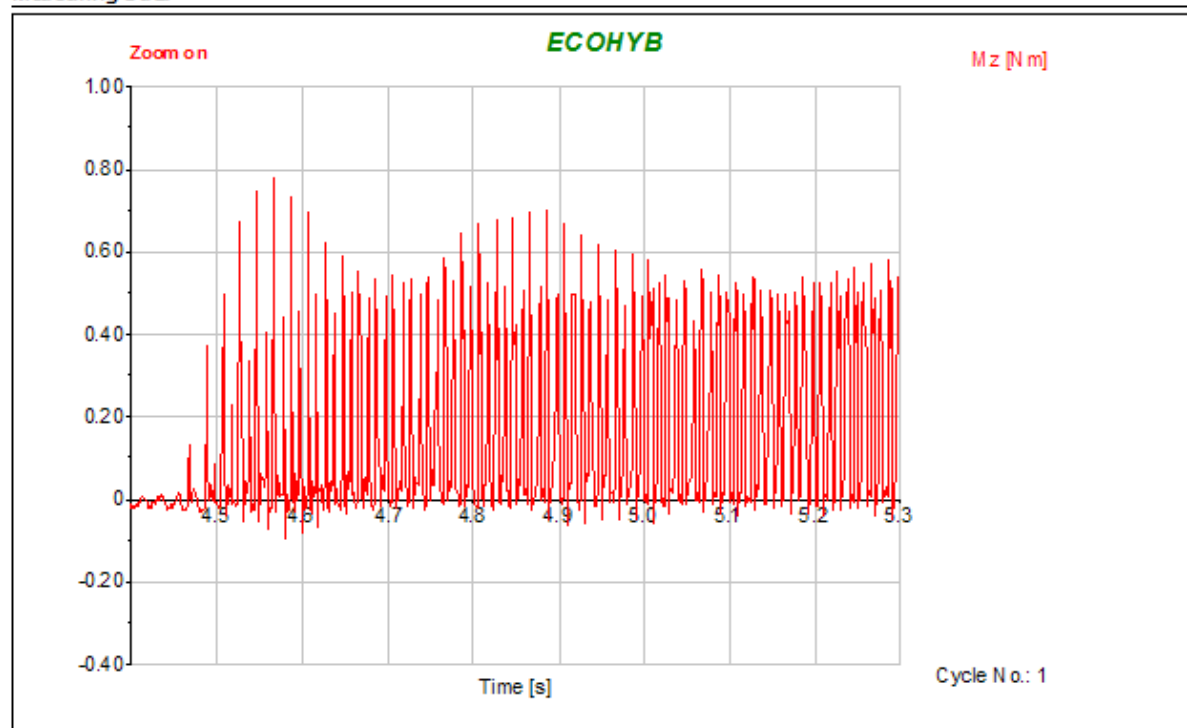
Remark: 2006

Material: AZ91+SD11
 Tool: Hosszlyukmaró D 20 mm

$v_c = 100 \text{ m/min}$
 $n = 1000 \text{ rpm}$

$f = \text{ mm/rev}$
 $v_f = \text{ mm/min}$

$a_p = 0,5 \text{ mm}$
 $a_e = 16 \text{ mm}$

Measuring Data

4.3.4. ábra
Nyomatékdiagram maráskor

Measuring File

Path: D:\Helyi_dokumentumok\E\20\messdat.dwd
 Cycle: 1 of 1
 Date: Tuesday, 10 January, 2006 14: 11: 20
 Size: 206 836 Bytes

Documentation

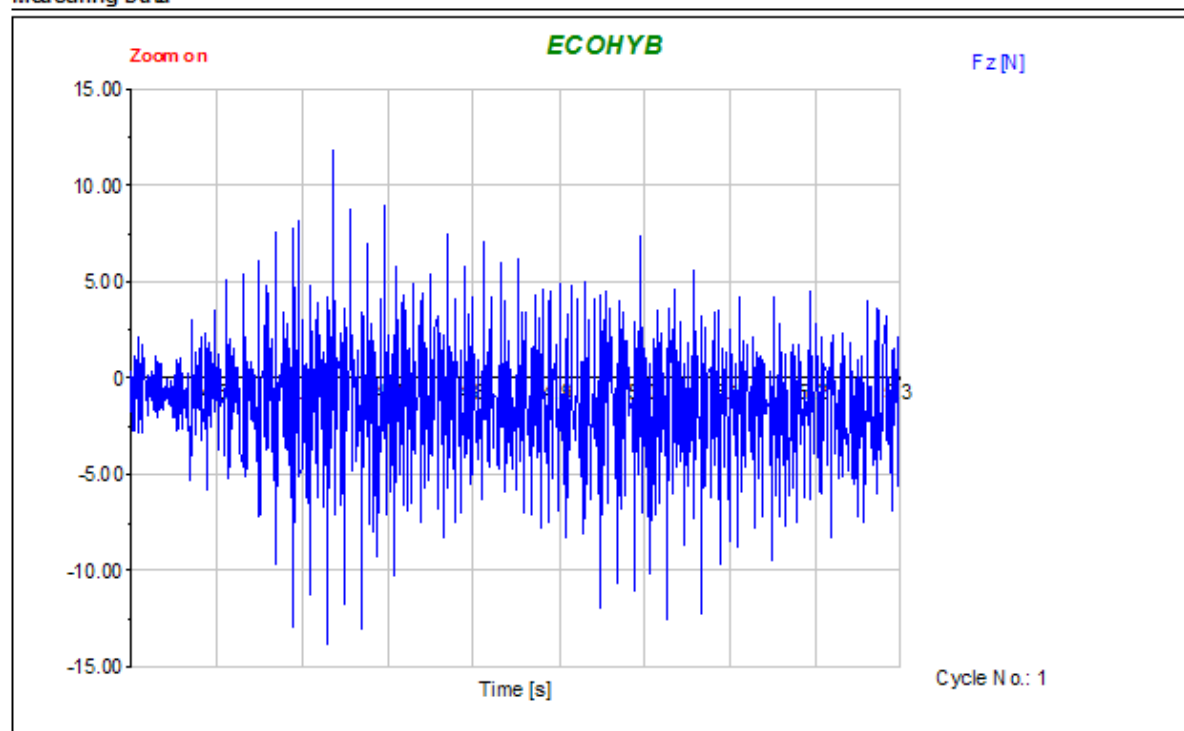
Remark: 2006

Material: AZ91+SD11
 Tool: Hosszlyukmaró D 20 mm

$v_c = 100$ m/min
 $n = 1000$ rpm

$f =$ mm/rev
 $v_f =$ mm/min

$a_p = 0,5$ mm
 $a_e = 16$ mm

Measuring Data

4.3.5. ábra
Erődiagram maráskor

Homlokmaráskor a forgácsolósebesség az itt is érvényes ún. bővített Taylor-egyenlettel számítható:

$$v_c = C_v \cdot f_z^{F1} \cdot a^{F2} \cdot T^{F3} \cdot VB_m^{F4} \cdot (B/D_s)^{F5} \quad [\text{m/min}] \quad (4.3.11.)$$

ahol

C_v – munkadarab- és szerszámanyagtól függő konstans,

VB_m – a megengedett hátkopás,

$F1...F5$ – a kitevők.



4. FORGÁCSOLÁS

I. FORGÁCSOLÁSTECHNOLÓGIAI ALAPOK

Copyright©
 2006
 v1.00.20060310

66. oldal

Keményfém lapkás homlokmarókhoz a konstans és a kitevők értékei a 4.3.2. táblázatból vehetők. A táblázat érvényességi tartománya: $f_z=0,1...0,4$ mm/fog, $a=1...12$ mm, $T=20...100$ min, $VB_m=0,2...0,5$ mm, $B/D_s=0,4...0,8$.

Anyag	Lapka	C_v	F1	F2	F3	F4	F5
C 15	P25 P25 bev.	563 942	-0,21 -0,22	-0,10 -0,10	-0,28 -0,26	+0,34 +0,38	-0,24 -0,28
Fe 490	P25 P25 bev	507 1378	-0,18 -0,20	-0,10 -0,10	-0,24 -0,40	+0,46 +0,27	-0,25 -0,23
C 60	P25 P25 bev	559 712	-0,27 -0,29	-0,10 -0,10	-0,47 -0,46	+0,53 +0,26	-0,28 -0,26
20MnCr5	P25 P25 bev	543 807	-0,23 -0,26	-0,10 -0,10	-0,30 -0,34	+0,61 +0,25	-0,28 -0,21
X12CrNi 189	P25 P25 bev	355 802	-0,21 -0,24	-0,10 -0,10	-0,24 -0,39	+0,39 +0,13	-0,20 -0,24
250 (Öv250)	K10 Kerámia	496 588	-0,19 -0,23	-0,10 -0,10	-0,38 -0,34	+0,30 +0,24	-0,24 -0,21

4.3.2. táblázat

A konstans és a kitevők értékei keményfém lapkás homlokmarókhoz

Gyorsacél palástmaróhoz a 4.3.3. táblázat tartalmaz technológiai ajánlásokat.

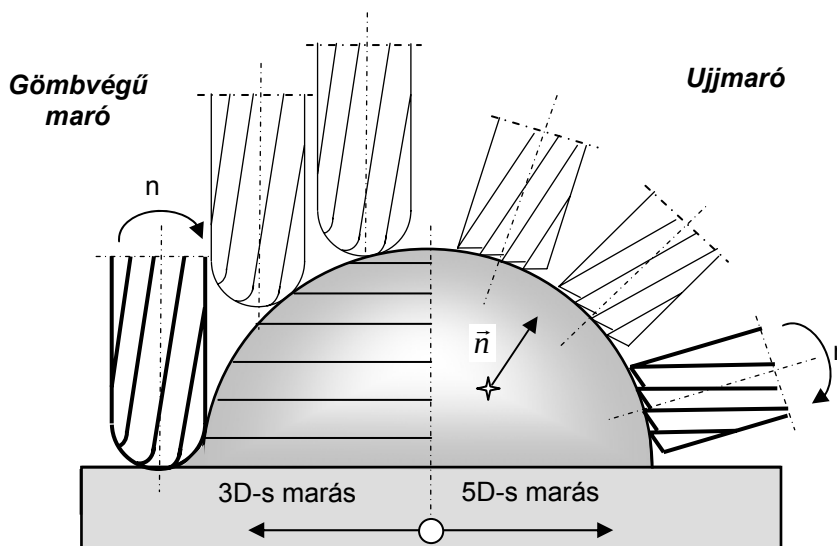
Anyag	Megmunkálási mód	f_z [mm/fog]	a [mm]		
			1	4	8
			v [m/min]		
Fe490	simítás nagyolás	0,10 0,22	36 28	29 22	26 20
C60	simítás nagyolás	0,08 0,16	29 22	22 17	20 15
16MnCr5	simítás nagyolás	0,10 0,20	36 28	29 22	26 20
X12CrNi189	simítás nagyolás	0,07 0,14	31 24	24 19	22 17
200 (Öv200)	simítás nagyolás	0,10 0,20	29 22	22 17	20 15
Al99,5	simítás nagyolás	0,09 0,18	520 400	420 320	360 280

4.3.3. táblázat

Technológiai ajánlások gyorsacél palástmaróhoz

4.3.2. Alkalmazási terület

A marást elsősorban síkfelületek megmunkálására használják, de meg kell jegyezni, hogy a CNC-technika terjedésével egyre nagyobb jelentőséget kap a szabad, térbeli felületek marási technológiával való elkészítése (4.3.6. ábra). Az ábra baloldali gömbvégű maróval, szintenként marják a gömbfelületet (3D-s megmunkálás), míg a jobboldali ábrázolás szerint a szerszám szabadon mozoghat úgy, hogy a tengelye a felület $\vec{n}$ normálisával mindig egy meghatározott szöget zár be (5D-s megmunkálás).



4.3.6. ábra
Szabad, térbeli felületek marása CNC szerszámgépen



Forgácsolás CNC megmunkáló központon
(029.wmv)

Forrás: Sinis GmbH.



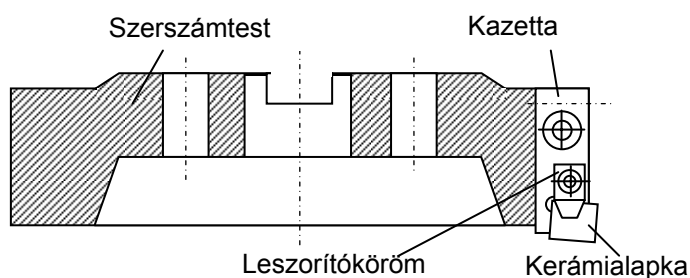
Zsebmarás CNC marógépen
(030.wmv)

Forrás: FRAISA SA
<http://www.fraisa.com>

4.3.3. Szerszámkonstrukció és szerszámanyag

Különös gondot kell fordítani a marófejek gyártására és beállítására. Ellenőrizni kell például a finom-marófejeknél a kész test homloklapjának és furatának ütését (megengedett érték finommaróra 4, ill. 8 μm), valamint a szerelt fejben a lapkacsúcsokat, melyekre a megengedett ütés 10 μm . Igen lényeges a szerszámok szilárd, ütés- és játékmentes rögzítése a főorsóban.

Szürkeöntvények finommarásához használják az egyfogú, széles élű, kerámialapkás marófejet (4.3.6. ábra). A szerszám kis fogásmélységgel ($a=0,05\text{ mm}$), nagy előtolással ($f_z=3\text{ mm/fog}$) és forgácsolósebességgel ($v_c=600\text{ m/min}$) forgácsol. A konstrukció előnye, hogy nincs szükség a lapkacsúcsok ütésének beállítására, mert csak egy csúcs forgácsol.

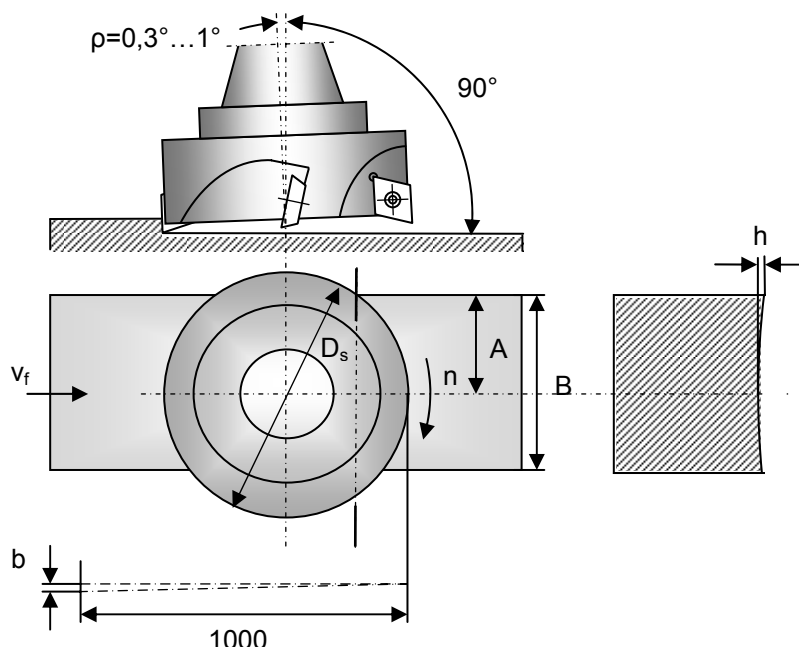


4.3.7. ábra
Egyfogú, kerámialapkás marófej

Finommaráshoz legtöbbször keményfémeket, Cermetet, köbös bór-nitridet (CBN) és kerámiát használnak. A P10...P25 jelű keményfém általában az acélokhoz, a K10 jelű öntöttvasakhoz, ill. extra-pozitív élgeometriával Al- és Cu-ötvözetekhez alkalmas. A TiC-TiN alapanyagú Cermet acélokhoz és öntöttvasakhoz használható. A CBN-lapkákat edzett acélok és kemény öntöttvasak finommarásához, míg a kevert (szívósabb) oxidkerámiákat és a szilíciumkerámiákat a szürke és gömbgrafitos öntvények megmunkálásához ajánlják elsősorban.

	4. FORGÁCSOLÁS	Copyright© 2006 v1.00.20060310
	I. FORGÁCSOLÁSTECHNOLÓGIAI ALAPOK	69. oldal

Ha a többfogú marófej tengelye merőleges a megmunkált felületre (homlokmarás), az MKGS-rendszer merevségi korlátjai miatt előfordul, hogy a visszatérő fogak felületdurvító karcnyomokat hagynak a felületen. Azért, hogy ezt elkerüljék, a szerszámot az előtolás irányába kis mértékben bedöntik, ami viszont alakhibát (teknősség) okoz (4.3.8. ábra). A bedöntés mértékét ennek megfelelően úgy kell megállapítani, hogy a h teknőmélység még benne legyen a megengedett alakhibában.



4.3.8. ábra
A marófej megdöntésének hatása az alakhibára

Az ábra alapján a h értéke számítható:

$$h = \frac{b}{1000} \cdot \left\{ \frac{D_s}{2} - \sqrt{\frac{D_s^2}{4} - A^2} \right\} \quad [\text{mm}] \quad (4.3.12.)$$

ahol

b – a bedöntés mérhető értéke 1000 mm-en ($b = 5...18 \text{ mm}$),

D_s – a maróátmérő a szerszámcsúcson,

A – a maróközéppont helye a munkadarabon.

4.3.4. A gépi főidő

A gépi főidő homlok- és palástmaráskor egyaránt a

$$t_{fg} = L/v_f \quad [\text{mm}] \quad (4.3.13.)$$

képlettel számítható, de a munkameneti úthossz (L) meghatározásának módja lényegesen különbözik.

A munkameneti úthossz homlokmaráskor:

$$L = l + D_s + l_{rt} \quad [\text{mm}] \quad (4.3.14.)$$

ahol

l – a munkadarab hossza,

l_{rt} – a szerszám ráfutásának és túlfutásának együttes értéke (1...4 mm).

A munkameneti úthossz palástmaráskor:

$$L = l + l_{rt} + \sqrt{\frac{D_s^2}{4} - \left(\frac{D_s}{2} - a\right)^2} \quad [\text{mm}] \quad (4.3.15.)$$

ahol

a – a fogásmélység.

Ellenőrző kérdések

1. Ismertesse rajzzal a homlokmarás mozgás- és erőviszonyait, valamint a szerszám élgeometriáját!
2. Ismertesse rajzzal a palástmarás mozgás- és erőviszonyait, valamint a szerszám élgeometriáját!
3. Ismertesse a maráshoz használatos szerszámanyagokat!
4. Hogyan számítjuk a közepes forgácsolóerőt és a teljesítményt homlok- és palástmaráskor?
5. Milyen kapcsolat van a technológiai paraméterek és a szerszáméltartam között maráskor?
6. Mi az előnye az egyfogú marófej használatának?
7. Hogyan számítjuk az alakhibát a marófej megdöntésekor?
8. Hogyan számítjuk a gépi főidőt homlok- és palástmaráskor?

4.3.5. Számítási példák

I. feladat

A forgácsolási teljesítmény és a gépi főidő számítása

Kiinduló adatok

Technológiai változat: homlokmarás.

A munkadarab anyaga: 250 (Öv250), HB 160.

A munkadarab geometriája: a megmunkálandó hosszúság $l=1800$ mm, a megmunkálandó szélesség $B=70$ mm.

A szerszám: keményfém lapkás homlokmaró.

A lapka anyaga: K 10.

A szerszám geometriai jellemzői: $D_s=90$ mm, $\kappa_r=45^\circ$, $\gamma_f=5^\circ$, $\alpha_f=5^\circ$, $z_m=6$.

Szerszámelhelyezés a munkadarab szimmetriavonalában.

A megengedett hátkopás: $VB_m=0,5$ mm.

A szerszám rá- és túlfutása: 5 – 5 mm.

A szerszámgép hatásfoka: $\eta=0,8$.

A szerszámgép állapota: megfelelő.

	4. FORGÁCSOLÁS	Copyright© 2006 v1.00.20060310
	I. FORGÁCSOLÁSTECHNOLÓGIAI ALAPOK	71. oldal

Számított és választott adatok

1. A választott éltartam:

$$T=40 \text{ min.}$$

2. A választott technológiai adatok:

$$a=1 \text{ mm, } f_z=0,1 \text{ mm/fog}$$

3. A forgácsolósebesség és a fordulatszám, figyelembe véve a szerszámgép állapotát:

$$v_c = 163 \text{ m/min} \quad (4.3.11.)$$

$$n=577 \text{ ford/min} \quad (4.3.1.)$$

4. A közepes főforgácsoló erő:

$$f_k = 0,087 \text{ mm} \quad (4.3.5.)$$

$$h_k = f_k \cdot \sin \kappa_r = 0,062 \text{ mm}$$

$$\psi = 1,7 \quad (4.3.4.)$$

$$F_v = 292 \text{ N} \quad (4.3.3.), (4.3.1. \text{ táblázat})$$

5. A forgácsolási teljesítmény:

$$P_c = 0,79 \text{ kW} \quad (4.3.6.)$$

6. A szükséges villamos teljesítmény, figyelembe véve a hatásfokot:

$$P = P_c / \eta = 0,99 \text{ kW}$$

7. A gépi főidő a rá- és túlfutással:

$$t_{fg} = 5,5 \text{ min} \quad (4.3.13.), (4.3.14.)$$

II. feladat

Alakhiba meghatározása síkfelület marásakor

Kiinduló adatok

Az I. feladat forgácsolási körülményei között síkfelületet marunk úgy, hogy a homlokmarót $\rho=1^\circ$ -ban bedöntjük.

Határozza meg a teknőmélység nagyságát!

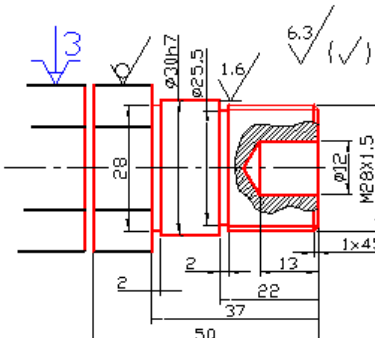
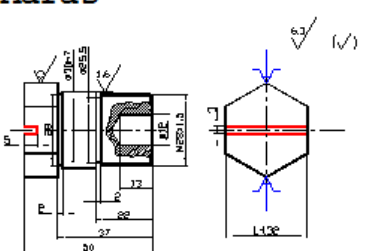
1. A bedöntés mértéke 1000 mm-en:

$$b = 1000 \cdot \tan 1^\circ = 17,5 \text{ mm} \quad (4.3.6. \text{ ábra})$$

2. A teknőmélység nagysága a mart felületen:

$$h = 0,292 \text{ mm} \quad (4.3.12.)$$

	4. FORGÁCSOLÁS	Copyright© 2006 v1.00.20060310
	I. FORGÁCSOLÁSTECHNOLÓGIAI ALAPOK	72. oldal

Cég: Kecskeméti Főiskola GAMF Kar Gépgyártástechnológia Tanszék		Üzem: Forgácsoló, lakatos	MűVELETERV Munkadarab megnevezése: ILLESZTŐCSAVAR			Gyártási jel:	Műveletterv száma: 1		
Anyag Sárgaréz AS2H		Nyersméret: Ø32x3000	Az ütköztetést és a szorítás irányát kék nyíllal a megmunkálást pirossal kell a vázlaton megjelölni!			Munkadarab jele: FA-05-324-31	Lapszám: 1/1		
Művelet jele	Művelet leírása vázlat		Ké- szíti	Mun- kagép	Ké- szü- lék	Szerszám	Mérő- eszköz	Jellemző technológiai adatok	Meg- jegyzés
I.	Esztergálás  - Hárompofás tokmányba fog - Oldalaz - Nagyoló esztergál Ø28x22; Ø31.5x15 - Símitó esztergál Ø30h7x15 - Beszúr, élt letör Ø25.5x2; Ø28x2; 1x45° - Menetet metsz M 28x1.5 - Fúr Ø12x13 - Méreteket ellenőriz - Leszúr		Forgácsoló üzem	TOS SV 18 RA típusú egyetemes eszterga	Eszterga tokmány CP 230 MSZ 5048	2. 3. 4. Egyetemes esztergák és SCLC RIL1616H09 ; Lapka: SCLCT115, ISO P 20 C8 GC 4015 5. Lesztörőkés 151.2-2020-21M; Lesztörőpáncs: 151.2-2120; Lapka: -SG/GC4025 N151.2-200 6. Gyorscsiszoló menetmetsző DIEBOLD 2347/050; Menetmetsző HSS Co8 M28x1.5 7. Fúró tokmány ALBRECHT 21314030; Csapafúró 11022 HSS Ø12 9. Lesztörőkés 151.2-2020-21M; Lesztörőpáncs: 151.2-2120; Lapka: -SG/GC4025 N151.2-200 Tolómérő 150 MSZ 4986 Mikrométer II. 25 - 50 MSZ 11152	2. n = 1120 1/min; v = 105 m/min; f = k 3. n = 1120 1/min; v = 105 m/min; f = 0,20 mm/ford; a = 4,5 mm; a = 2,7 mm; i = 1 4. n = 1400 1/min; v = 130 m/min; f = 0,10 mm/ford; a = 1,5 mm; i = 1 5. n = 1120 1/min; v = 105 m/min; f = k 6. n = 450 1/min; v = 40 m/min; f = k 7. n = 450 1/min; v = 17 m/min; f = k 9. n = 710 1/min; v = 80 m/min; f = k	Hűtés emulzió k: kéz átlós Szerszám és befogó adatok: SANDVIK-Coromant katalógus, HANH+KOLB katalógus	
II.	Marás  - Központosító satuba fog - Hornyt mar - Méreteket ellenőriz - Kifog		Forgácsoló üzem	TOS SV FN20 tip. Egyetemes marógép	Központosító gépszu, Röhm 28 750/110	2. Kombinált-marótkés DIN 6358 Tárcsamaró Ø100x3 HSSE DIN 1834 Tolómérő 150 MSZ 4986	2. n = 315 1/min; v _k = 99 m/min; v _f = 40 mm/min; a _p = 5 mm; a _e = 3 mm i = 1	Hűtés emulzió Szerszám és befogó adatok: HANH+KOLB katalógus	
III.	Sorjázás		Laka- tos			Reszelő h200			Ké- zi
IV.	Végellenőrzés								
Kiállította: Fodor Antal		Kelt: 2005-12-19	Kelt: 2005-12-19		Vonatkozó műveletek száma:				

4.3.10. ábra
Az alkatrész ábrás műveletterve

Irodalomjegyzék

- [1] Dudás I.: Gépgyártástechnológia I. Egyetemi tankönyv, Miskolci Egyetem, 2002.
- [2] Dudás I.: Gépgyártástechnológia II. Egyetemi tankönyv, Miskolci Egyetem, 2001.
- [3] Detzky I.: Gépgyártástechnológia II. Tankönyvkiadó, Budapest, 1988.
- [4] K. Brankamp: Gyártási és szerelési kézikönyv. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1980.
- [5] Rábel Gy.: Gépipari technológusok zsebkönyve. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1979.
- [6] Bálint L.: A forgácsoló megmunkálás tervezése. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1967.
- [7] Dr. Pálmai Z.: Fémek forgácsolhatósága. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1980.
- [8] Köves-Moser-Almásy: Köszörülés és finommegmunkálás. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1973.
- [9] I. G. Koszmacsev: Gépgyártástechnológia. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1980.
- [10] Dr. FridrikL.-Nagy S.-Orosz L.-Vékony S.: Alkatrészgyártás és szerelés I. Tankönyvkiadó, Budapest, 1979.
- [11] Bali J.: Forgácsolás. Tankönyvkiadó, Budapest, 1982.
- [12] Dr. Gibrovski L.: Gépipari megmunkálások. Tankönyvkiadó, Budapest, 1977.
- [13] J. Békés: A fémgforgácsolás tervezése. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1984.
- [14] Dr. Szabó A.-Sztakó I.: Gépgyártástechnológia I. Főiskolai jegyzet, GAMF, Kecskemét, 1981.
- [15] Alter R.-Dr. Kodácsy J.-Dr. Szabó A.: Gépgyártástechnológia II. Főiskolai jegyzet, GAMF, Kecskemét, 1987.
- [16] Dr. Szabó A.-Dr. Dutkay Gy.: Gépgyártástechnológia III. Főiskolai jegyzet, GAMF, Kecskemét, 1990.
- [17] M. Sander: Oberflächenmeßtechnik für den Praktiker. Feinprüf GmbH, Göttingen, 1989.
- [18] U. Rembold-A. Bien-L. Fehrle-H. Fischer- K. Hörmann-H. König-K. Mally-K. Rohmer: CAM-Handbuch. Berlin, Springer, 1990.
- [19] JO. Abeln: Die CA-Techniken in der industriellen Praxis. München, Hanser, 1990.
- [20] T. Krist: Zeit- und Leistungsermittlung. Technik-Tabellen Verlag Fikentscher & CO, Darmstadt, 1975.
- [21] D. Whitehouse: Surfaces and their Measurement. Taylor Hobson Ltd., UK. Norfolk, 2002.
- [22] Awiszus-Bast-Dürr-Matthes: Grundlagen der Fertigungstechnik. Fachbuchverlag Leipzig, München, 2003.
- [23] G. Spur-Th. Stöferle: Handbuch der Fertigungstechnik. Band 3/1 Spanen. Carl Hanser Verlag, München, 1979.
- [24] G. Spur-Th. Stöferle: Handbuch der Fertigungstechnik. Band 3/2 Spanen. Carl Hanser Verlag, München, 1980.
- [25] R. Sautter: Fertigungsverfahren. Vogel Buchverlag, Würzburg, 1997.
- [26] Degner-Lutze-Smejkal: Spanende Formung. Verlag Technik, Berlin, 1987.
- [27] W. König: Fertigungsverfahren. Band 1. VDI-Verlag, Düsseldorf, 1981.
- [28] W. König: Fertigungsverfahren. Band 2. VDI-Verlag, Düsseldorf, 1980.

	IRODALOMJEGYZÉK	Copyright© 2006 v1.00.20060310
	I. FORGÁCSOLÁSTECHNOLÓGIAI ALAPOK	75. oldal

- [29] Düniß–Neumann–Schwartz: Trennen. Verlag Technik, Berlin, 1969.
- [30] B. Perović: Fertigungstechnik. Springer-Verlag, Berlin, 1990.
- [31] Fritz–Schulze: Fertigungstechnik. VDI Verlag, Düsseldorf, 1990.
- [32] H. Witte: Werkzeugmaschinen. Vogel Buchverlag, Würzburg, 1994.
- [33] R. Koether–W. Rau: Fertigungstechnik für Wirtschaftsingenieure. Carl Hanser Verlag, München, 1999.
- [34] K. Weinert: Spanende Fertigung. Vulkan-Verlag, Essen, 1997.
- [35] A. Dashchenko: Manufacturing Technologies for Machines of the Future. Springer Verlag, Berlin, 2003.
- [36] Dr. Kodácsy János: Bestimmung der Konstanten der König–Depireux Standzeitgleichung mit nichtkonstanten Schnittwerten. Kollokvium Werkzeuge '84, Kraków (PL). p. 1–8.
- [37] Baranyi József–Kodácsy János: A szerszámtartam meghatározása változó forgácsolási paraméterekkel, GAMF Közleményei, 1985. p. 7–26.
- [38] Kodácsy János–Szabó András: A Cr és Cr-Ni ötvöztetű acélok megmunkálhatóságának vizsgálata bevonatos keményfémlapkákkal. Gépgyártástechnológia, 1985/10. p. 446–449.
- [39] Kodácsy János–Gawlik J.: Energetische Probleme bei der Überwachung der Komposit-Schneidstoffe. III. Intersymposium, „Die Untersuchungen von Werkzeuge '88“. Kraków (PL), 1988. p. 90–94.
- [40] Dr.-Ing. J. Kodácsy: Die Ermittlung der minimaler Spandicke mit Temperaturmessungen beim Feindreihen gehärteter Stähle. 6. Internationales Braunschweiger Feinbearbeitungs-Kolloquium kiadványa. Braunschweig (NSZK) 1990. p. A2.01–A2.07.
- [41] László Istvánné–Pintér István–dr. Kodácsy János: A PERTHOMETER S6P típusú laboratóriumi felületi érdességmérő adatfeldolgozó rendszere. microCAD'97, Miskolc 1997. p. 105–108.
- [42] Szabó A.–Kodácsy J.: Comparison of Several Issues of the CIRP-Forecast Regarding the Future of Manufacturing Technology with the Present Stage of Development. Production Processes and Systems, Volume 1, Miskolc University Press 2002., p. 161–169.
- [43] Gyártmányismertető
SECO, Sandvik-Coromant, TIZIT, GÜHRING, TITEX, WALTER, FRAISA.