

EGYED-FALUVÉGI ERZSÉBET
TOLVALY-ROSCA FERENC
HOLLANDA DÉNES

FORGÁCSOLÁS ÉS SZERSZÁMGÉPEKEN GENERÁLT FELÜLETEK ALAPJAI

LABORATÓRIUMI GYAKORLATOK

MŰSZAKI TUDOMÁNYOS FÜZETEK



ERDÉLYI MÚZEUM-EGYESÜLET

EGYED-FALUVÉGI ERZSÉBET – TOLVALY-ROSCA FERENC – HOLLANDA DÉNES

FORGÁCSOLÁS ÉS SZERSZÁMGÉPEKEN

GENERÁLT FELÜLETEK ALAPJAI

LABORATÓRIUMI GYAKORLATOK

**EGYED-FALUVÉGI ERZSÉBET
TOLVALY-ROSCA FERENC
HOLLANDA DÉNES**

**FORGÁCSOLÁS ÉS SZERSZÁMGÉPEKEN
GENERÁLT FELÜLETEK ALAPJAI**

Laboratóriumi gyakorlatok



ERDÉLYI MÚZEUM-EGYESÜLET

Kolozsvár

2024

A kötet megjelenését támogatta Nemzeti Kulturális Alap,
a Magyar Tudományos Akadémia, a Bethlen Gábor Alapkezelő Zrt.,
az EME Műszaki Tudományok Szakosztálya



Nemzeti
Kulturális
Alap



BETHLEN GÁBOR
Alap



© Egyed-Faluvégi Erzsébet, Tolvaly-Roșca Ferenc, Hollanda Dénes, EME 2024

Szaklektor: Máté Márton, a Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem egyetemi
tanára

Kiadó: Erdélyi Múzeum-Egyesület

Felelős kiadó: Biró Annamária

Sorozatszerkesztő: Bitay Enikő

Olvasószerkesztő: András Zselyke

Borítóterv: Könczey Elemér

Nyomdai munkálatok:

F&F International Kft. Kiadó és Nyomda, Gyergyószentmiklós

Ügyvezető igazgató: Ambrus Enikő

Tel./Fax: +40-266-364171

Descrierea CIP a Bibliotecii Naționale a României
EGYED-FALUVÉGI, ERZSÉBET

**Forgácsolás és szerszámgépeken generált felületek alapjai :
laboratóriumi gyakorlatok / Egyed-Faluvégi Erzsébet, Tolvaly-Roșca**

Ferenc, Hollanda Dénes. - Cluj-Napoca : Erdélyi Múzeum-Egyesület, 2024

Conține bibliografie

SBN 978-606-739-265-4

I. Tolvaly-Roșca, Ferenc

II. Hollanda, Dionisie

62

[DOI: 10.36242/mtf-20](https://doi.org/10.36242/mtf-20)

TARTALOM

ELŐSZÓ.....	7
1. GYAKORLAT	
Forgácsolás esztergán, oszlopos fúrógépen és gyalugépen.....	9
2. GYAKORLAT	
Forgácsolás szerszámmarógépen, univerzális körkösörűgépen és síkkösörűgépen.....	18
3. GYAKORLAT	
Az egyélű forgácsolószerszám élgeometriája. A szerszám-meghatározó rendszer.....	28
4. GYAKORLAT	
Forgácsolóerő esztergálásnál.....	36
5. GYAKORLAT	
A fajlagos forgácsolóerő.....	44
6. GYAKORLAT	
A forgácsolóél átlaghőmérséklete.....	51
7. GYAKORLAT	
Az anyagok forgácsolhatósága.....	60
8. GYAKORLAT	
A generológörbék tanulmányozása.....	68
9. GYAKORLAT	
A vezérgörbék tanulmányozása.....	73
10. GYAKORLAT	
Felületek generálása harántgyalun.....	83
11. GYAKORLAT	
Forgásfelületek generálása esztergán.....	89
12. GYAKORLAT	
A csavarmenetek generálása esztergán.....	96
13. GYAKORLAT	
A modulmenetek generálása esztergán.....	104

14. GYAKORLAT	
Felületek generálása marógépeken	117
15. GYAKORLAT	
Felületek generálása hátraesztergálással (I. rész).....	124
16. GYAKORLAT	
Felületek generálása hátraesztergálással (II. rész)	136
17. GYAKORLAT	
Az evolvensprofil generálása fésűskéssel.....	140
18. GYAKORLAT	
Az evolvensprofil generálása metszőkerékkel	147
19. GYAKORLAT	
Evolvensprofil generálása számítógépen	153
SZAKIRODALOM	158
THEORY OF METAL CUTTING AND SURFACES GENERATED ON MACHINE TOOLS (Summary)	159
Contents.....	161
THEORIE DER METALLZERSPANUNG UND DER AUF WERKZEUG- MASCHINEN ERZEUGTEN OBERFLÄCHEN (Zusammenfassung)	163
Inhalt	165
AȘCHIEREA ȘI TEORIA SUPRAFETELOR GENERATE PE MAȘINI UNELTE (Rezumat)	167
Cuprins	169

ELŐSZÓ

A jelen könyv igyekszik segítséget nyújtani a hallgatóknak a szerszámgépeken elvégzendő gyakorlatok megszervezésében és végrehajtásában a forgácsoláselmélet és felületgenerálás tantárgyak keretében, amelyet a III. éves gépészmérnöki szakos diákok hallgatnak. A laboratóriumi gyakorlatok a forgácsoláselmélet és felületgenerálás tantárgyak jóváhagyott analitikus programja alapján készült, fő célja hozzájárulni az előadások anyagának a támogatásához, gyakorlati ismeretekkel.

A könyv 19 laborgyakorlatot tartalmaz, melyek két csoportba sorolhatók, ennélfogva a könyv is két részből áll.

A könyv első fele, mely az első hét laborgyakorlatot öleli fel, a forgácsolással kapcsolatos ismereteket alapozza meg.

Az első két gyakorlat bemutatja a hagyományos szerszámgépek közül az egytemes esztergát, az oszlopos fúrógépet, a harántgyalugépet, a marógépet, az univerzális és a síkköszörűgépeket. Minden egyes szerszámgép esetén részletezve vannak a szerszámgép mozgásai (fő- és mellékmozgások) és a megmunkálható felületek.

A harmadik laborgyakorlat az esztergakésen beazonosítható élgeometriát ismerteti: a konstruktív és effektív élgeometriát.

A következő négy laboratóriumi gyakorlat a forgácsoláselmélet alapproblémáinak (a forgácsképződés, a forgácsolóerő, a forgácsolási hőmérséklet, a szerszámkopás és éltartam, a fémek forgácsolhatósága), elméleti és gyakorlati tanulmányozására használt kísérleti módszerek leírását és gyakorlati alkalmazását öleli fel.

A második csoportba tartozó laboratóriumi gyakorlatok fő célja, hogy a hallgató a szerszámgépeken generált felületek gyakorlati megvalósításához szükséges mozgásokat használja fel a generált felületek analitikus egyenleteinek a felírásához. Figyelembe véve, hogy a forgácsoláselmélet és felületgenerálás tan-

tárgyak összekötő kapcsok az alapozó tantárgyak és a szaktantárgyak között, a jelen laboratóriumi gyakorlat jegyzet dolgozatai nagy hangsúlyt fektetnek az elméleti alapismeretek és a szerszámgépeken generált felületek gyakorlati megvalósítása között.

A könyv alapján, melyet kezében tart a tisztelt Olvasó, felírhatók bármely szerszámgépen generált, a munkadarabokat határoló felületek matematikai egyenletei.

Minden dolgozat a tárgyalt problémakör megértéséhez szükséges elméleti alapismeretekkel kezdődik, a gyakorlatok végrehajtásához szükséges adatok közlésével, a kísérleti eredmények mért értékeinek rögzítési lehetőségével folytatva a kísérleti jellegű gyakorlatokat. Ezután a kapott adatok felhasználási módját ismertetve és a szükséges számítások elvégzésére felkérve a hallgatót, az eredmények értékelésével és következtetések levonásával zárul a gyakorlat.

Bízunk abban, hogy az elvégzett laboratóriumi gyakorlatok nagymértékben hozzájárulnak a szerszámgépeken generált felületek elméleti és gyakorlati ismereteinek a gyarapításához, hatékony segítséget nyújtva a szerszámgépeken generált felületek elméletének a megértésében.

A szerzők

1. GYAKORLAT

FORGÁCSOLÁS EGYETEMES ESZTERGÁN, OSZLOPOS FÚRÓGÉPEN ÉS GYALUGÉPEN

A dolgozat célja megismertetni az egyetemes esztergán, konzolos fúrógépen való forgás- és csavarfelületek, illetve a gyalugépen a sík- és alakos felületek megmunkálásának lehetőségeit, megismerni ezeken a szerszámgépeken megmunkálható felülettípusokat, elsajátítani az említett szerszámgépek mozgásait és ezek kapcsolatát.

Elméleti alapfogalmak

A csúcsezterga (strungul normal)

A csúcsezterga szerkezeti elemei, működése, a fő- és mellékmozgások

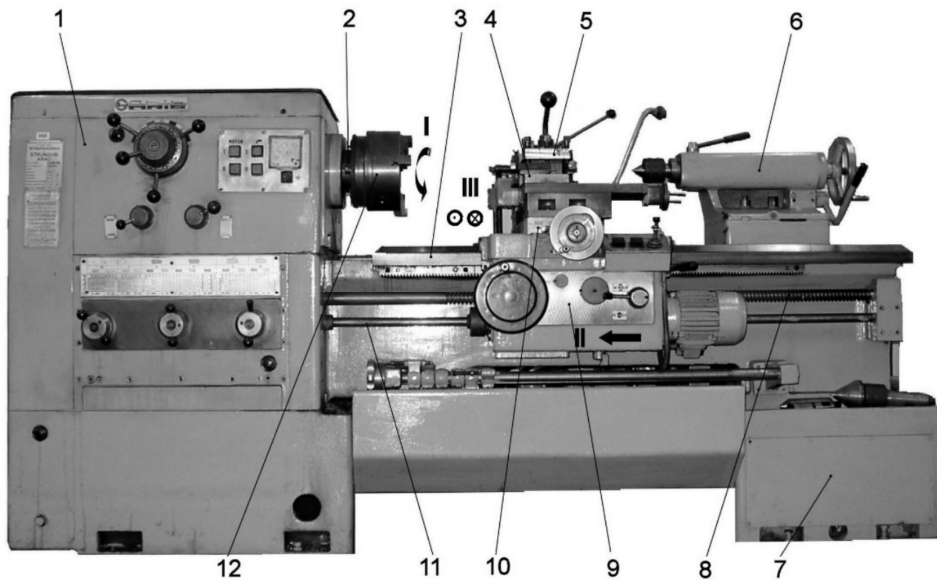
Az iparban leggyakrabban használt esztergák a csúcseztergák. Ezek főbb elemei (**1. ábra**):

- 1 – főhajtómű, kapcsolószekrény (păpușă fixă);
- 2 – főorsó (arbore principal);
- 3 – hosszirányú vezetékek (ghidaje longitudinale);
- 4 – késtartó (portcuțit);
- 5 – késtartó szán (sanie portcuțit);
- 6 – szegnyereg (păpușă mobilă);
- 7 – gépágy (batiu);
- 8 – vezérorsó (șurub conducător);
- 9 – alapszán (cărucior);
- 10 – keresztzán (sanie transversală);
- 11 – vonóorsó (bara de avansuri);
- 12 – szorítótokmány (universal).

Az esztergákon végzett forgácsolási műveleteket, amelyeket rendszerint egy-élű szerszámmal végzünk, esztergálásnak nevezzük. Az esztergálás idején a munkadarab végzi a főmozgást, amely a darab által végzett helytálló tengelyű forgómozgás, a szerszám végzi a mellékmozgást, amely lehet hosszirányú vagy keresztirányú előtoló mozgás.

A mellékmozgások irányától, ezek kombinációjától, valamint a forgácsolószer-
szám alakjától függően különböző formájú felületek munkálthatók meg az esz-
tergán (**1. táblázat**):

- külső és belső hengeres felületek;
- külső és belső homlokfelületek;
- különböző alakú belső és külső hornyok;
- külső és belső kúpfelületek;
- alakos külső és belső felületek;
- csavarfelületek, általában külső és belső hengeres, illetve kúpfe-
lületekre illeszkedő menetek.



1. ábra

A munkadarabot, a 3 vagy 4 pofás esztergatokmányba vagy bármilyen, közvetlenül a főorsóba illesztett készülékbe rögzítik.

A főorsó különböző fordulatszámú forgómozgását (I.-es mozgás, **1. ábra**) a főhajtómű biztosítja, amelyet egy villanymotor hajt meg.

A mellékmozgást biztosító előtoló szekrény a főorsótól kapja a mozgást cserekeréken keresztül. Az előtoló szekrény továbbítja a mozgást a vonóorsóra vagy a vezérorsóra, amely átadja a mozgást az alapszánnak vagy a keresztszánnak. Az alapszán biztosítja a II.-es számú, hosszirányú, előtoló mozgást, amely párhuzamos a főtengely forgástengelyével, a keresztzán valósítja meg a III.-as számú keresztirányú előtoló mozgást (**1. ábra**). Ennek iránya merőleges a főtengely irányára.

Az előtoló mozgás idején a vonóorsó segítségével biztosítjuk az alapszán vagy a keresztzán mozgását.

A csavarfelületek megmunkálásánál az alapszán a vezérorsótól kapja a mozgást, a vezérorsóanyán keresztül. A megfelelő menetemelkedés biztosítása miatt az előtoló szekrény közvetlenül a főtengelyről van meghajtva.

A fentiekben leírt I., II., illetve a III. számú mozgások egy jól meghatározott tartományban tetszés szerint állíthatók. Így a főtengely fordulatszáma, a hosszirányú, illetve a keresztirányú előtolás nagysága és sebessége a forgácsolási paraméterek beállítását biztosítják.

A késtartó szán a saját vezetékein, csak kézi előtolással mozgatható. A késtartó szán vezetékei a forgólaphoz kapcsolódnak, amely a keresztszánon kiképzett körvezetékek segítségével biztosítja a késtartó szán függőleges tengely mentén való elfordítását. Ez a mozgás nem ugyanaz, mint a késtartó saját függőleges tengelye körüli forgása, amely adott szerszám elhelyezési szögeinek beállítására vagy szerszámcsereére szolgál.

A szegnyereg a különböző fúrók, menetfúrók, menetvágók, illetve a támaszhegyek tartója. Hosszú kúpos felületek forgácsolásakor a szegnyereg a főtengelyre merőleges irányba is kitolható. Így a kúpos felület generátora a hosszirányú előtolással lesz párhuzamos.

1. táblázat

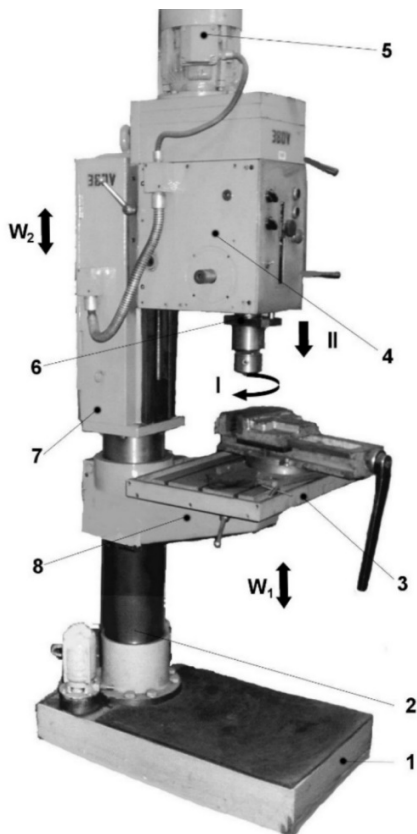
ESZTERGÁKON MEGMUNKÁLT FELÜLETEK	
Hengeres felületek	
Homlokfelületek	
Alakos homlokfelületek	
Radális hornyok	
Kúpos felületek	
Alakos felületek	
Csavarfelületek	

A fúrógép (mașina de găurit)

A fúrógép szerkezeti elemei, működése, a fő- és mellékmozgások

Az oszlopos fúrógép elemei a következők (2. ábra):

- 1 – alaplapp (placa de bază);
- 2 – oszlop (coloană);
- 3 – gépasztal (masa mașinii);
- 4 – orsóház (cap de găurit);
- 5 – villanymotor (motorul electric);
- 6 – fúróorsó (arbore principal);
- 7 – állvány (semimontant);
- 8 – konzol (consolă).



2. ábra

Az alaplap biztosítja a gép stabilitását.

Az oszlop az alaplapba van illesztve, és hasított illesztőperem segítségével van rögzítve.

A konzol fogaskerék-fogasléc mechanizmus segítségével függőleges irányba mozgatható.

Az I.-es főforgácsoló mozgást és a II. számú előtoló mozgást a fúróorsó végzi.

A W_1 és W_2 beállító mozgásokat egy hajtókerékkel és egy forgatható fogantyúval biztosíthatjuk, kézíleg.

A T hornyok segítségével befogókészülékek rögzíthetők az asztalra.

A főmozgást, rugalmas tengelykötésen keresztül, villamos motor juttatja el a sebességváltóhoz, amely a fúróorsónak biztosít megfelelő fordulatszámú forgómozgást.

Az előtoló mozgást szintén a fúróorsó végzi fogaskerék-fogasléc hajtás segítségével, ahol a fogaskerék a sebességváltóból kapja a meghajtást.

A szerszámok befogása Morse-kúpon keresztül vagy a főtengelyre erősített hárompofás szorítótokmány segítségével történik.

A fúrógépen megmunkálható felületek osztályozása

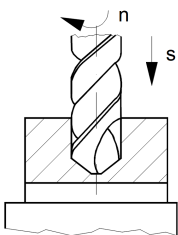
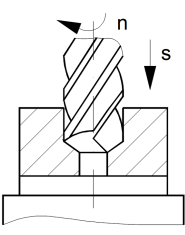
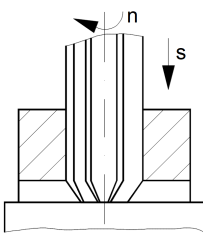
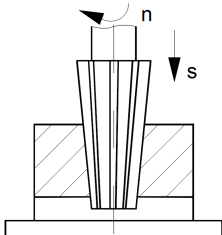
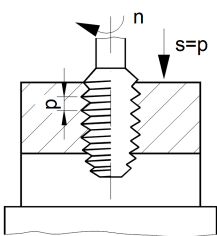
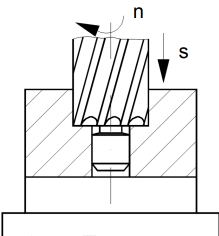
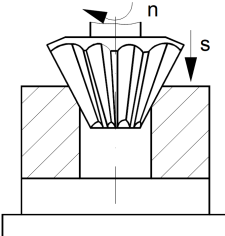
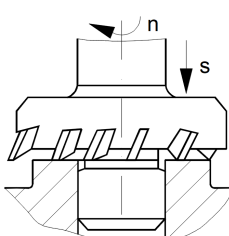
A fúrógépeken a következő műveletek végezhetők (**2. táblázat**):

- fúrás;
- furatbővítés;
- süllyesztés;
- homloksüllyesztés;
- kúpsüllyesztés
- dörzsölés;
- kúpdörzsölés;
- menetfúrás.

Az esztergálástól eltérően, a belső felületek simítása többélű szerszámmal történik. Az ilyen típusú szerszámok élei az élezési hibák következtében sohasem helyezkednek el ugyanazon a forgásfelületen. Ennek következményeképpen az élekre ható forgácsolási erők nem egyforma nagyságúak, de a gyakorlatban ezeket egyformának tekintjük. Az előbb elfogadott megközelítés alapján a fúróorsóra csak a tangenciális és axiális forgácsoló erő hat, mivel a radiális erők kiegyenlítik egymást.

A menetmegmunkáláskor a menetemelkedést a szerszám biztosítja (tehát nem a gép kinematikája). A szerszámgép csupán egy követő előtolást biztosít a menetmegmunkálás során.

2. táblázat

Fúrógépen elvégezhető különböző műveletek és megmunkálható felletípusok			
			
Fúrás	Furatbővítés	Dörzsölés	Kúpdörzsölés
			
Menetfúrás	Sülyesztés	Kúpsülyesztés	Homloksülyesztés

A gyalugép (mašina de rabotat)

A harántgyalugépeket (šeping) vízszintes, függőleges vagy dőlt síkfelületek, illetve alakos felületek megmunkálására használják. A felületek megmunkálása idején a főforgácsoló mozgás mellett előtoló mozgásra is szükség van. A gyalugépek esetén az előtoló mozgás szakaszos mozgás, amelyet az üresjárat végén végez a munkadarab vagy a szerszám.

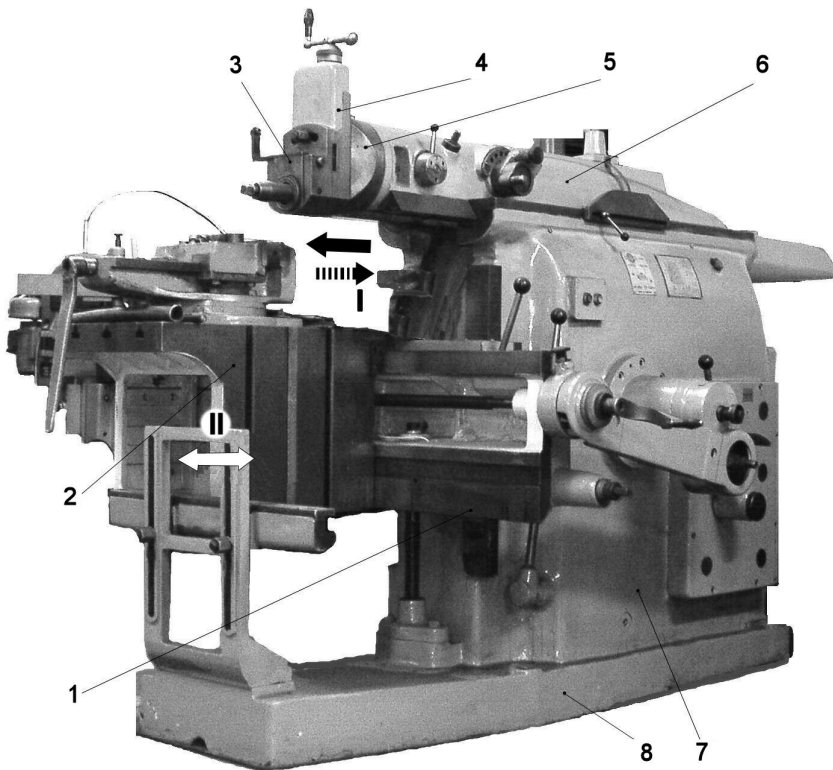
A harántgyalugép főbb alkotóelemei, működése, a forgácsoláshoz szükséges mozgások

A keresztgyalugép főbb alkotóelemei és a forgácsoláshoz szükséges mozgások a **13. ábrán** áthatók:

- 1 – magassági szán (sania verticală);

- 2 – gépasztal (masa maşinii);
- 3 – késtartó (portcuţit);
- 4 – késszán (sanie portcuţit);
- 5 – a kos forgófeje (capul rotativ al berbecului);
- 6 – kos (berbec);
- 7 – állvány (batiu);
- 8 – alaplapp (placă de bază);
- 9 – keresztszán (sania transversală).

A főmozgás ebben az esetben az a mozgás, amelynek eredménye a forgács kialakulása, mivel a főmozgás idején nincs előtoló mozgás.



3. ábra

A villanymotor forgómozgása egy lengőhimbás hajtómű segítségével változó sebességű egyenes vonalú mozgássá alakul. Az egyenes vonalú mozgást a kos veszi át, amely a hosszanti vezetékeken mozog, létrehozva a főforgácsoló

mozgást (I.-es főmozgás, **3. ábra**). Ez az egyenes vonalú mozgás egy alternáló mozgás, amely egy munkamenetből (a tulajdonképpeni forgácsoló mozgásból) és egy üresjáratból áll, amelynek ideje alatt a kos visszatér eredeti helyzetébe (amikor nem történik forgácsolás). A főmozgás pályahossza állítható a megmunkálendő felület hosszának megfelelően.

A II.-es számú, előtolást biztosító mozgás szakaszos és nem folytonos. A II.-es mozgás az üresjárat befejezésekor történik, ez biztosítja az újabb forgácsolandó felületnek a kés hatótávolságába való juttatását. Ezt a mozgást a gépasztal végzi.

Függőleges felület megmunkálása esetén az előtolást a késtartó szán végzi. Ez a III. számú mellékmozgás (**3. ábra**).

Azért, hogy az üresjárat idején a kés ne érje a megmunkálendő felületet, mert ez többletkéskapást eredményezne, a késtartó felemeli a kést az üresjárat alatt.

A laboratóriumi munka lefolyása

A laboratóriumi óra első felében a diákok azonosítani fogják az esztergagép főbb elemeit, a fő- és mellékmozgásokat, az esztergagépeken megmunkálható felületeket.

A laboratóriumi óra második felében azonosítani fogják az oszlopos fúrógép elemeit, mozgásait, a vele megmunkálható felületeket.

A laboratóriumi óra harmadik részében a keresztgyalugép mozgásaival, elemeivel, a rajta megmunkálható felülettípusokkal ismerkednek meg a diákok.

Következtések és megfigyelések

A laboratóriumi óra végén jegyzetet készítenek a megfigyelt dolgokról, kitérve a megmunkálható felülettípusokra, a szerszámok befogási módjára, a fő- és mellékmozgások megnevezésére, elkészítik a megmunkált darabok kivitelezési rajzait.

2. GYAKORLAT

FORGÁCSOLÁS SZERSZÁMMARÓGÉPEN, EGYETEMES KÖRKÖSZÖRŰGÉ- PEN ÉS SÍKKÖSZÖRŰGÉPEN

A dolgozat célja megismertetni a hallgatókkal a szerszámmarógépek, a kör- és a síkköszörűgépek főbb elemeit, az említett szerszámgépek mozgásait, valamint e szerszámgépeken megmunkálható felülettípusokat.

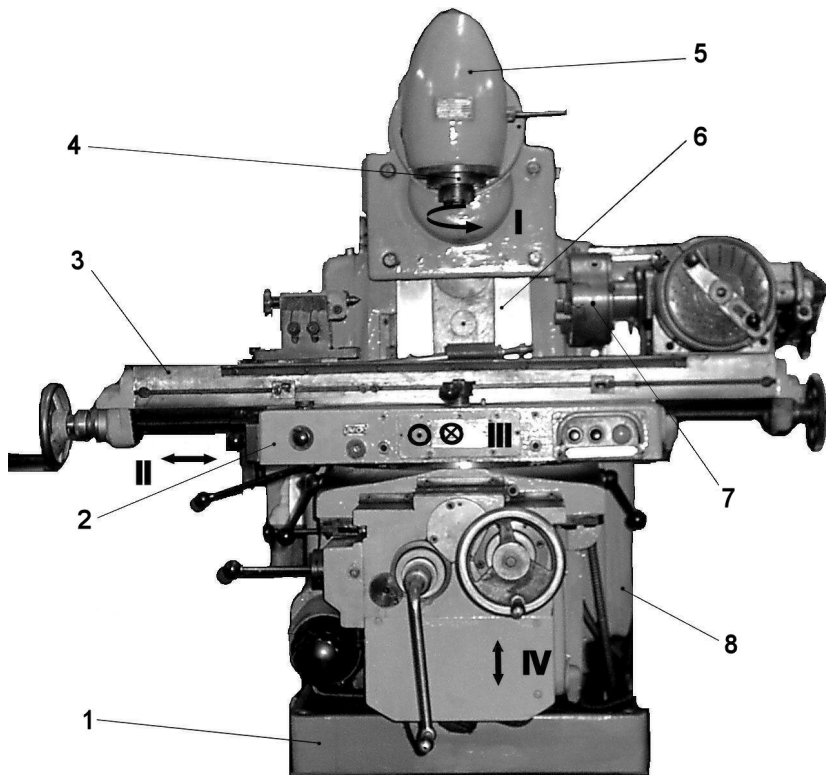
Elméleti alapfogalmak

A szerszámmarógép (mașină de frezat de sculărie)

A szerszámmarógépek főbb szerkezeti elemei, működése, a fő- és mellékmozgások

A **4. ábra** alapján:

- 1 – talp (placă de bază);
- 2 – keresztzán (sanie transversală);
- 3 – asztal (sanie longitudinală);
- 4 – főorsó (arbore principal);
- 5 – függőleges marófej (cap de frezat vertical);
- 6 – függőleges vezetékek (ghidaje verticale);
- 7 – osztófej tokmánya (universalul capului de divizare);
- 8 – gépállvány (batiu).



4. ábra

A marógépeken a forgácsolás rendszerint többélű szerszámmal történik, amelyet marónak nevezünk. A megmunkálás idején a maró végzi a főmozgást, amely a maró tengelye körüli forgómozgás. A mellékmozgásokat, amelyeket előtoló mozgásoknak is nevezünk, rendszerint a marógép asztalára fogott munkadarab végzi, de vannak esetek, amikor a mellékmozgást a szerszám végzi (a szerszámmarógép esetében **4. ábra**). A marógépeken

megkülönböztetünk hosszirányú, keresztirányú és függőleges irányú előtoló mozgást.

A szerszámmarógép tartozékai a következők: osztófej; forgóasztal; gyors marófej; függőleges marófej; vésőfej; kétirányú billenőasztal.

Az I. számú főforgácsoló mozgást (**4. ábra**) a főorsó végzi.

Az II. számú hosszanti előtolás, a III. számú keresztelőtolás és a IV. számú függőleges előtolás (**4. ábra**) a szerszám gép mellékmozgásai. A II. számú hosszanti előtolást és a IV. számú függőleges előtolást az asztalra felfogott munkadarab végzi, a III. számú mozgást a szerszám végzi. A marógépek jellegzetessége, hogy az előtolások függetlenek a főmozgástól.

A szerszámmarógépen megmunkálható főbb felülettípusok

A marás a forgácsolási műveletek közül a legtermelékenyebb eljárás. A marásnál használt szerszámokat maróknak nevezzük. A marók rendkívül változatosak, közös tulajdonságuk az, hogy többélű szerszámok. Gyakorlatilag úgy tekinthetők, mint több késből álló szerszámok, ezért sokkal keményebb üzemmódra képesek, mint az egyetlen éllel rendelkező forgácsoló kés. A marógépen megmunkálható főbb felülettípusok a következők (**3. táblázat**):

- egyszerű vagy kombinált síkfelületek;
- forgásfelületek;
- csavarfelületek;
- alakos felületek.

3. táblázat

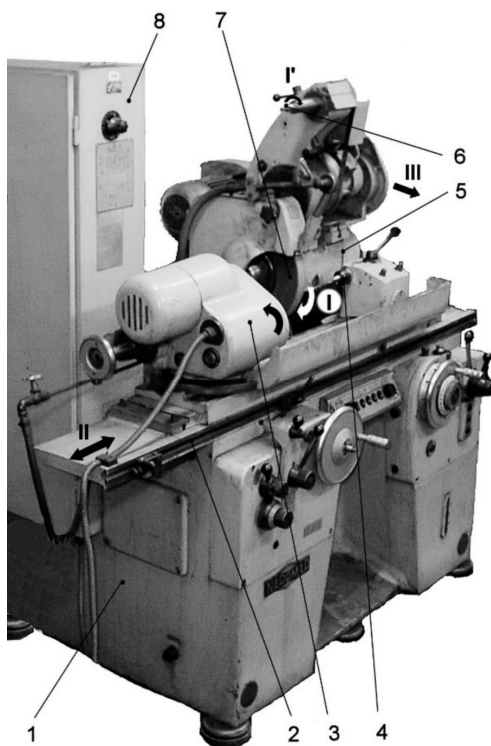
Síkfelületek	The diagrams show different grinding configurations: 1. Cylindrical grinding with an external wheel rotating at n_s and workpiece moving at s. 2. Cylindrical grinding with an internal wheel rotating at n_s and workpiece moving at s. 3. Planar grinding with a vertical wheel rotating at n_s and workpiece moving at s. 4. Planar grinding with a horizontal wheel rotating at n_s and workpiece moving at s. 5. Circular grinding with a rotating workpiece at n_s and a grinding wheel moving at s. 6. Circular grinding with a rotating workpiece at n_s and a grinding wheel moving at s.
Forgás-felületek	The diagrams show turning operations: 1. A lathe turning a cylindrical workpiece with spindle rotation n_p and tool feed s. 2. A turret lathe turning a conical workpiece with spindle rotation n_p and tool feed s.
Csavarfelületek	The diagrams show thread grinding: 1. A thread grinding wheel rotating at n_s on a lathe with spindle rotation n_p and feed $s=p$. 2. A thread grinding wheel rotating at n_s on a turret lathe with spindle rotation n_p and feed s_p.

Az egyetemes körkösörűgép (mașină de rectificat universală)

A körkösörűgépek főbb alkotó elemei működése, a fő- és mellékmozgások

Az **5. ábra** alapján:

- 1 - gépágy (batiu);
- 2 - asztal (masă longitudinală);
- 3 - tárgyorsóház (păpușă fixă);
- 4 - szegnyereg (păpușă mobilă);
- 5 – kösörűkorong-orsóház (păpușă portpiatră);
- 6 – lyukkösörűtüske (broșă pentru rectificare interioară);
- 7 – kösörűkorong (piatră de rectificat);
- 8 – villamos szekrény (dulapul aparatului electric).



5. ábra

A kőszörülési művelet simító művelet. Az érdességek átlagos magassága kőszörülés esetén $0,4 - 3,2 \mu\text{m}$, a gyalulás, esztergálás, marás és fúrás esetében $3,2 - 25 \mu\text{m}$.

Az eltávolított anyagmennyiség is sokkal kisebb a kőszörülés esetében, mint a többi megmunkálás során.

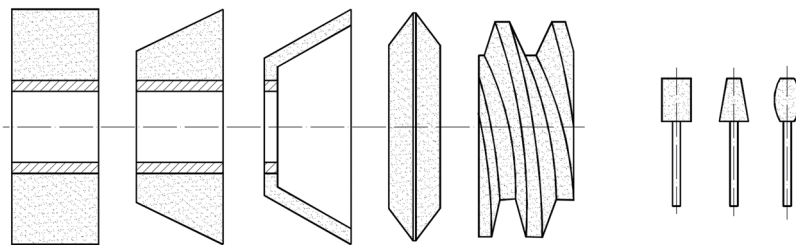
Ezek alapján következtethetünk, hogy a kőszörülés egy sokkal igényesebb forgácsolási eljárás, ahol a szerszámgépeknek és szerszámoknak nagyobb merevséget és geometriai pontosságot kell biztosítani.

A főmozgást mindig a szerszám, a kőszörűkorong végzi, amely forgómozgás. A mellékmozgásokat rendszerint a megmunkált darab végzi, de végezheti a kőszörűkorongot tartó szán is.

Ellentétben az eddig ismertetett megmunkálásokkal, a kőszörülés forgácsolási sebességét m/s-ban adják meg, ez $8 - 60 \text{ m/s}$ értékek között változik. 8 m/s alatt a kőszörűszerszám morzsolódik, így kopása igen intenzívvé válik.

A forgácsolószerszám neve kőszörűkorong. Ez egy a célnak megfelelően választott kötőanyagba ágyazott forgácsoló szemcsék konglomerátuma.

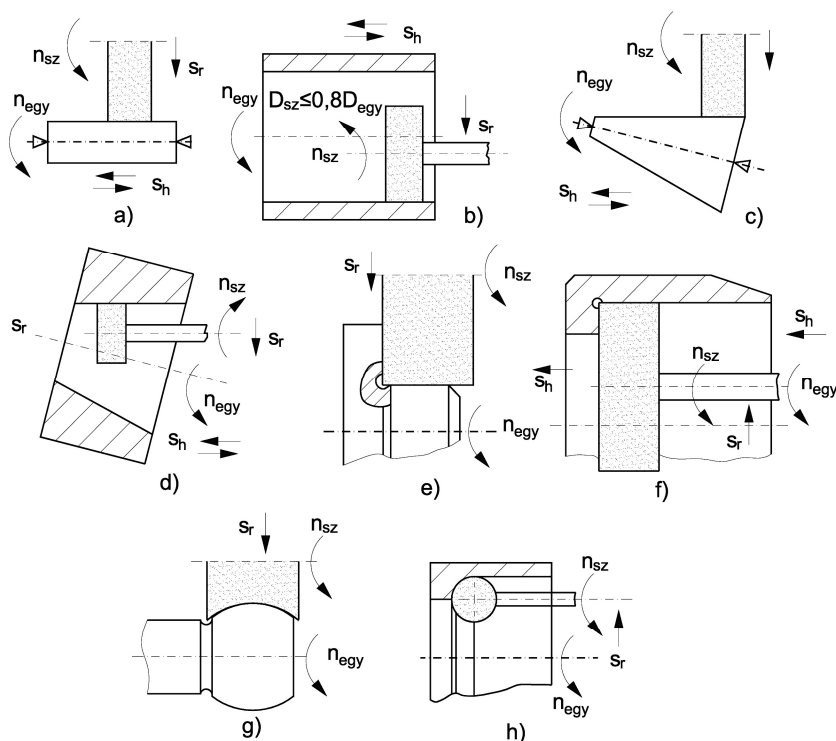
A **6. ábrán** néhány kőszörűkorong-típus látható. A kisebbek csapos kivitelenek, a nagyobbak pedig tájoló-rögzítő furattal rendelkeznek.



6. ábra

Körkőszörüléssel megmunkálható főbb felletttípusok

- belső és külső hengeres felületek (**7. ábra**);
- belső és külső kúpos felületek (**7. ábra**);
- belső és külső, kombinált sík és hengeres felületek (**7. ábra**);
- belső és külső alakos felületek (**7. ábra**).



7. ábra

A fent ábrázolt felülettípusok csupán egy töredékét teszik ki a körkösörüléssel megmunkálható felületeknek. Általában bármilyen vegyi vagy hőkezelésen átesett felületet utólag köszörülnek. A bonyolultabb felülettípusok köszörülésére léteznek az úgynevezett célkösörűgépek, például a fő-tengely-kösörűgép, a bütyköstengely-kösörűgép és a másoló kösörűgép.

A szerszámgépágy tartalmazza a hidraulikus hajtást is. A szán mozgatása egy lineáris hidraulikus motorral történik. A köszörűkorong-orsóház elmozdulása, a saját vezetékei mentén történik. A lyukkösörűtüske a köszörűkorong-orsóházhoz képest elmozdítható.

A gép asztalán található az orsóház és a támasztókúpot tartalmazó szegnyereg.

A hűtő-kenő folyadékot biztosító berendezés kötelező módon működik a köszörülés során. A köszörülés idején levált forgácsszemcséket el kell távolítani. Ezt a hűtő-kenő folyadék végzi.

Az I, I. számú főmozgásokat a köszörűkorong, illetve a lyukkösörűtüske végzi. Ez egy állandó szögsebességű forgómozgás.

A II. számú mellékmozgást, amely a hosszanti előtolást biztosítja, hidraulikus hajtással az asztal végzi. A II. számú mellékmozgás egy egyenes vonalú, alternatív mozgás.

A III. számú mellékmozgást, a radiális előtoló mozgást, a köszörűkorong szánja biztosítja. Ez az előtolás egy folytonos vagy alternatív, radiális mozgás.

A IV. számú mellékmozgást, a körirányú előtoló mozgást, a munkadarab végzi. Ez is egy állandó szögsebességű mozgás.

Az előtoló mozgások értéke egy adott tartományban állítható.

A főforgácsoló mozgást egy villanymotor biztosítja, a fordulatszám változtatási lehetősége nélkül. Figyelembe kell vennünk, hogy a forgácsolási sebesség a köszörűkorong átmérőjének függvénye.

A síkkösörűgép (mașină de rectificat plan)

A síkkösörűgép főbb alkotó elemei működése, a fő- és mellékmozgások

A síkkösörűgépeken általában egyszerű síkfelületek vagy (különleges osztókészülékeket használva) tengelyirányú hornyok munkálhatók meg.

A szerszámgép főbb alkotó elemei (**8. ábra**):

- 1 – gépágy (batiu);
- 2 – keresztzán (sanie transversală);
- 3 – asztal (masa mașinii);
- 4 – függőleges zán (sania verticală);
- 5 – tartóoszlop (montant);
- 6 – hűtőberendezés (instalația de răcire).

A síkkösörűgépek esetében is a főmozgás a köszörűkorong által végzett forgómozgás. A mellékmozgásokat, vagy előtoló mozgásokat a

megmunkálendő darab végzi. A függőleges mozgás csak a szerszám és a munkadarab közti távolság állítására szolgál.

A síkkösörülési műveletnél is érvényesek a körkösörülésnél ismertetett általános leírások, sebességek, szerszámok stb.

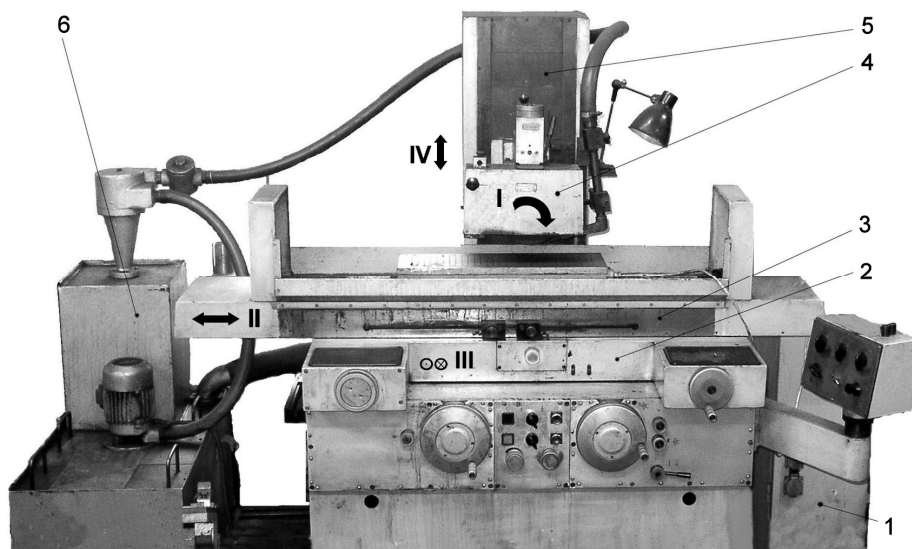
A gépágy T alakú és rendszerint öntvényből készül, amelynek felső részén a görgős keresztvezeték találhatók, belső része pedig a vezérlőberendezéseket tartalmazza.

A kösörűfej tartóoszlopa egy jól merevített, négyszögalapú oszlop. Az első felén találhatók a kösörűfej függőleges vezetékai.

A hűtőberendezés egy mágneses leválasztóval van ellátva, amely a fémforgácsokat szűri ki a hűtőfolyadékából.

Az I. számú főforgácsoló mozgást a kösörűkorong végzi, amely egy egyenletes forgómozgás.

A II. számú mellékmozgást, a hosszirányú előtolást, az asztal végzi.



8. ábra

A laboratóriumi munka lefolyása

A laboratóriumi óra első felében a diákok azonosítani fogják a szerszám-marógép főbb elemeit, a fő- és mellékmozgásokat, valamint a gépen megmunkálható felületeket.

A keresztirányú előtolást, a III. számú mellékmozgást, a keresztszán biztosítja.

A függőleges irányú, IV. mellékmozgást a köszörűfejet tartó szán végzi.

A laboratóriumi gyakorlat második felében azonosítani fogják a körkösörűgép főbb elemeit, mozgásait, a gépen megmunkálható felülettípusokat és a köszörülőmegmunkálás alapelveit.

A laboratóriumi gyakorlat harmadik felében a síkkösörűgép mozgásaival, elemeivel, a rajta megmunkálható felülettípusokkal ismerkednek meg a hallgatók.

Következtések és megfigyelések

A laboratóriumi óra végén jegyzetet készítenek a megfigyelt dolgokról, kitérve a megmunkálható felülettípusokra, a szerszámok befogási módjára, a fő- és mellékmozgások létrehozására. Elkészítik a megmunkált munkadarabok műhelyrajzait.

3. GYAKORLAT

AZ EGYÉLŰ FORGÁCSOLÓSZERSZÁM ÉLGEOMETRIÁJA. A SZERSZÁM- MEGHATÁROZÓ RENDSZER

A gyakorlat célja a hallgatók segítése a forgácsolószerszám-meghatározó rendszer megválasztásának és elhelyezésének a megértésében, forgácsoló-kések esetén, valamint a szerszám élgeometriájának a meghatározása ebben a rendszerben.

Elméleti alapfogalmak

Az esztergakés elemei

A forgácsolószerszám-meghatározó rendszer ugyanaz, bármely forgácsolószerszám esetén, de ezek általános tárgyalása nehézségeket okozhatnak a hallgató számára, ha nem ismeri a forgácsolószerszámokat. Az elvek pontos megértése érdekében a forgácsolószerszám-meghatározó rendszert az egyélű szerszám, az esztergakés esetében tárgyaljuk.

Bármilyen esztergakésnek **(9. ábra)** van egy dolgozó része (amely a forgácsleválasztást végzi) és egy befogó része (amely a szerszám befogását biztosítja). A szerszám dolgozó részén **(9. ábra)** a következő geometriai elemeket találjuk:

S – főél (täişul principal);

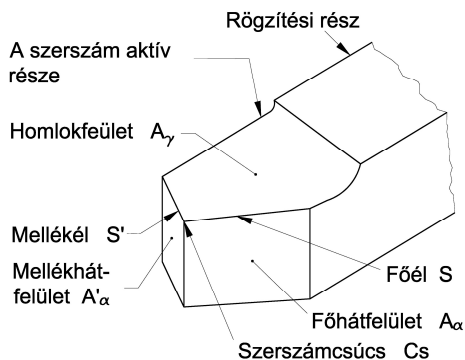
S' – mellékél (täişul secundar);

A_γ – homlokfelület, amely a forgács elvezetését biztosítja (faţa de degajare);

A_α – főhátfelület, amely a főél alatt helyezkedik el (faţa de aşezare principală);

A'_α – mellékhátfelület, amely a mellékél alatti felület (fața de așezare secundară);

Cs – szerszámcsúcs, amely a főél és a mellékél találkozási (vârful sculei).



9. ábra

A dolgozó rész élei és felületei különböző térbeli relatív helyzetben lehetnek. Ezeknek a helyzetét a szerszám meghatározó rendszerben (egy derékszögű koordináta-rendszerben) adjuk meg, amelyet „gyártási-” vagy, angol szóhasználattal, a „szerszám a kézben”-rendszernek nevezünk.

A dolgozó rész felületeinek vagy éleinek helyzetét a koordináta-rendszer síkjaival vagy tengelyeivel bezárt szögek segítségével határozzuk meg.

Mivel ezek a szögek különböző értékűek lehetnek az él különböző pontjain, az élgeometriát a vágóél egy adott pontjára határozzuk meg.

A szerszám-meghatározó rendszer

A szerszám-meghatározó rendszerben (**10. ábra**) az él vizsgált pontján átmenő végtelen sok sík közül néhánynak különleges jelentősége van az élgeometria meghatározása szempontjából. Ezeket a síkokat szerszámsíkoknak nevezzük. Az alábbiakban bemutatjuk az élgeometria meghatározására használt szerszámsíkokat.

Alapsík (P_r) (planul de bază) (**10. ábra**): a forgácsolóél kiválasztott pontját tartalmazó sík, amely merőleges a feltételezett fő forgácsolósebességvektor irányára. Tájolófelületes szerszámok esetében, mint az esztergákés, az alapsík a tájolósíkkal párhuzamos.

Élsík (P_s) (planul muchiei de aşchiere) (**10. ábra**): a forgácsolóélet tartalmazó, az alapsíkra merőleges sík. Nem egyenes vágóél esetén a forgácsolóél kiválasztott pontjában értelmezett érintőt tartalmazza.

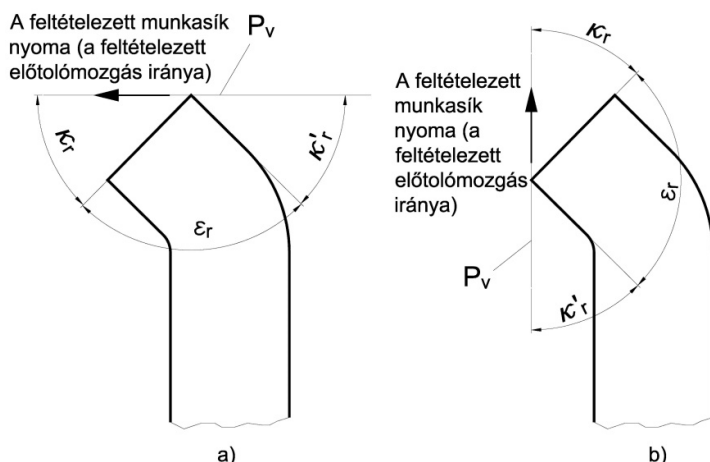
Ortogonalásík (P_o) (planul de măsurare sau ortogonal) (**10. ábra**): a forgácsolóél kiválasztott pontjában az alapsíkra és az élsíkra merőleges sík.

Élnormálisík (P_n) (planul normal pe muchia de aşchiere) (**10. ábra**): a forgácsolóél kiválasztott pontjában a forgácsolóélre merőleges sík.

Gyártási (konstruktív) élelhelyezési szögek

Ezek a szögek az él helyzetét adják meg a vonatkoztatási síkhoz képest, amely mindig merőleges az alapsíkra, de a feltételezett előtolás irányának függvénye. Hosszirányú esztergálás esetén (**11. ábra**) a vonatkoztatási sík az esztergakés tengelyére merőleges sík, amely megegyezik a feltételezett munkasíkkal (P_f).

Keresztirányú (radiális) esztergálás esetén (**11. ábra**) a vonatkoztatási sík párhuzamos az esztergakés tengelyével, amely szintén megegyezik a feltételezett munkasíkkal, mivel ebben az esetben az előtolás radiális. Az élelhelyezési szögeket mindig az alapsíkban mérjük (ezért tartalmazzák az r al-sóindexet).



11. ábra

Az élelhelyezési szögek a következők:

κ_r – főélhelyezési szög (unghiul de atac principal), amely a vonatkoztatási sík és a főélsík (P_s) közötti szög;

κ'_r – mellékél-helyezési szög (unghiul de atac secundar), amely a vonatkoztatási sík és a mellékélsík (P'_s) közötti szög.

Ugyanebben a síkban mérjük a csúcsszöget (unghiul de vârf) (ε_r), amely a főélsík (P_s) és a mellékélsík (P'_s) közötti szög, az alapsíkban.

Ezen szögek összege mindig 180° :

$$\kappa_r + \kappa'_r + \varepsilon_r = 180^\circ \quad (1)$$

A dolgozó rész geometriája

Bármely szerszámsíkkal metsszük a forgácsolószerszám dolgozó részét, a metszetnek mindig ék formája van. Ezért a dolgozó rész geometriáját ékgeometriának is nevezzük. A dolgozó rész geometriáját bármely síkmetszetben mérhetjük, de a mérnöki gyakorlatban ezeket a szögeket az ortogonális síkban, valamint az élnormálsíkban adjuk meg a műszaki rajzon.

A főél ortogonálisíkban mért szögei (12. ábra):

α_o – az ortogonálisíkban mért főél hátszög (unghiul de aşezare ortogonal principal), amely az élsík (P_s) és a főhátfelület (A_α) közötti szög;

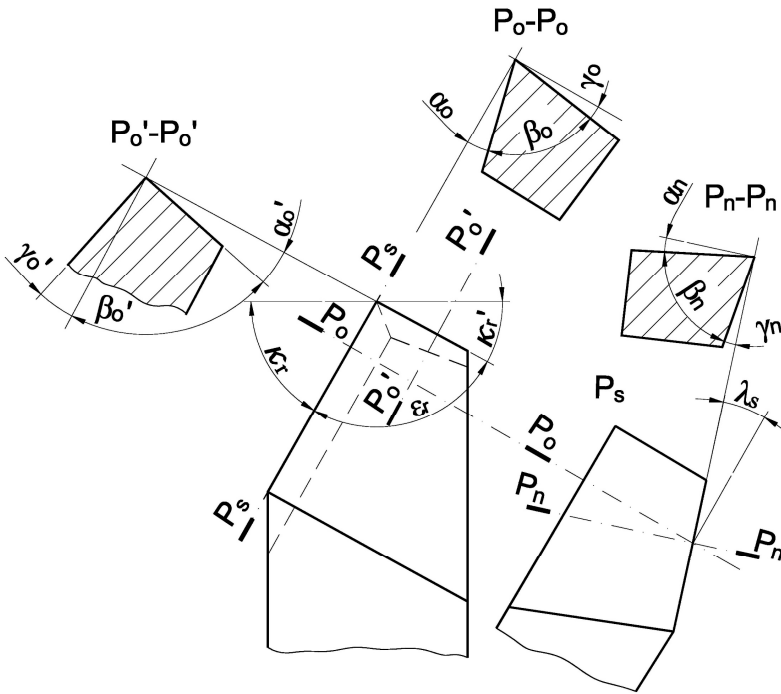
β_o – az ortogonálisíkban mért főél ékszög (unghiul de ascuţire ortogonal principal), amely a homlokfelület és a főhátfelület ortogonálisíkbeli nyomvonalai által bezárt szög;

γ_o – az ortogonálisíkban mért főél homlokszög (unghiul de degajare ortogonal principal), amely az alapsík (P_r) és a homloksík vagy a homlokfelület (A_γ) érintősíkjá közötti szög.

A szerszámszögeket görög betűkkel jelöljük, amelyeket a mérő sík indexe követ.

A fenti három szögérték között mindig fennáll a következő összefüggés:

$$\alpha_o + \beta_o + \gamma_o = 90^\circ \quad (2)$$



12. ábra

A mellékél ortogonálisímban mért szögei (12. ábra):

α'_o – az ortogonálisímban mért mellékélhátszög, amely a mellékélsík (P'_s) és a mellékhátfelület (A'_α) közötti szög;

β'_o – az ortogonálisímban mért mellékélékszög, amely a homlokfelület és a mellékhátfelület ortogonálisímbeli nyomvonalai közötti szög

γ'_o – az ortogonálisímban mért mellékélhomlokszög, amely az alapsík (P_r) és a homloksík vagy a homlokfelület (A_γ) érintősíkjá közötti szög.

A szerszámszögeket görög betűkkel jelöljük, amelyeket a mérő sík indexe követ.

A román megnevezések azonosak a főél esetében használtakkal, csak a „secundar” szó szerepel a „principal” szó helyett.

A mellékél jellegzetes három szöge között is mindig fennáll a következő összefüggés:

$$\alpha'_o + \beta'_o + \gamma'_o = 90^\circ \quad (3)$$

A főél élnormálsíkban mért szögei (**12. ábra**):

α_n – az élnormálsíkban mért főélhátszög (unghiul de aşezare normal principal), amely az élsík (P_s) és a főhátfelület (A_α) közötti szög;

β_n – az élnormálsíkban mért főélékszög (unghiul de ascuțire normal principal), amely a homlokfelület és a főhátfelület közötti szög;

γ_n – az élnormálsíkban mért főélhomlokszög (unghiul de degajare normal principal), amely az alapsík (P_r) és a homloksík vagy a homlokfelület (A_γ) érintősíkjá közötti szög.

A fenti három szögérték között itt is fennáll a következő összefüggés:

$$\alpha_n + \beta_n + \gamma_n = 90^\circ \quad (4)$$

A mellékél élnormálsíkban mért szögei (**12. ábra**):

α'_n – az élnormálsíkban mért mellékélhátszög, amely az mellékélsík (P'_s) és a mellékhátfelület (A'_α) közötti szög;

β'_n – az élnormálsíkban mért mellékélékszög, amely a homlokfelület és a mellékhátfelület közötti szög;

γ'_n – az élnormálsíkban mért mellékélhomlokszög, amely az alapsík (P_r) és a homloksík vagy a homlokfelület-érintő sík közötti szög.

A román megnevezések azonosak a főélnél használtakkal, csak a „secundar” szó szerepel a „principal” szó helyett.

A fenti három szögérték között itt is fennáll a következő összefüggés:

$$\alpha'_n + \beta'_n + \gamma'_n = 90^\circ \quad (5)$$

A szerszámél terelőszögei (**12. ábra**):

λ_s – főélterelőszög, amelyet a főélsíkban mérünk, a főél és az alapsík között;

λ'_s – mellékél-terelőszög, amelyet a mellékélsíkban mérünk, a mellékél és az alapsík között.

A gyakorlat végrehajtása

A gyakorlat idején különböző esztergakések állnak a hallgatók rendelkezésére. Első lépésként minden hallgató elkészíti a forgácsoló esztergakés vázlatát, ami abból áll, hogy lerajzolja a szerszámot felülnézetben (a szerszámgépen elfoglalt helyzetében) és a szükséges számú metszetben. Kiválasztja a szerszám élén azt a pontot, amelyben később meghatározza az élgeometriát, és megállapítja a feltételezett előtolás irányát. Hozzárendeli a forgácsolószerszámhoz a vonatkoztatási síkokat, amelyek segítségével bejelöli a fent meghatározott szögeket.

Nagyon fontos megérteni és megjegyezni azokat a minden esetben érvényes szabályokat, amelyek segítségével meghatározzuk a forgácsolószerszám élgeometriáját.

Az eredmények értékelése

A gyakorlat elvégzése után a hallgatók elismétlik a tanultakat, különös figyelmet szentelve a vonatkoztatási síkok meghatározásának, valamint ezen síkoknak a szerszám kiválasztott pontjához történő kapcsolásának, a szerszám-meghatározó rendszerben. Igyekeznek megjegyezni az általános szabályokat, a kés formájától és rendeltetésétől függetlenül.

4. GYAKORLAT

FORGÁCSOLÓERŐ ESZTERGÁLÁSNÁL

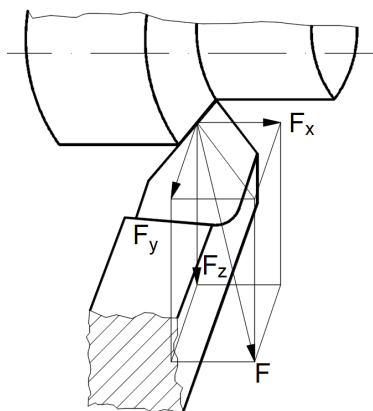
A gyakorlat célja meghatározni a forgácsolóerő fő komponensének empirikus képletében előforduló hatványkitevőket és az állandót.

A forgácsolás során fellépő erők ismerete kiemelt fontossággal bír a technológiai rendszer (szerszámgép – munkadarab – készülék – szerszám) igénybevételeinek szempontjából, de a szerszámgép-hajtómotor teljesítménye szempontjából is.

Elméleti alapfogalmak

A forgácsolóerő összetevői

A forgácsolás során a szerszámot igénybe vevő erő egy térbeli erő (**13. ábra**). Az általános forgácsolóerő nagysága és iránya nem jelentős, azonban kiemelt fontossággal bírnak ennek összetevői.



13. ábra

Ezek a következők:

- F_z összetevő, amelynek tartóegyenese a főforgácsoló mozgás pályagörbáját érinti. Ez a fő összetevője a forgácsolóerőknek.
- F_x , amely iránya párhuzamos az előtolási sebességvektor tartóegyenésével, megegyezik a darab forgástengelyével. Ezt az összetevőt nevezzük axiális vagy tengelyirányú összetevőnek.
- F_y , amely merőleges az F_z és F_x összetevőkre. Ezt az összetevőt radiális erőnek nevezzük.

Figyelembe véve, hogy ezen összetevők, a legtöbb esetben, egyenként mérőlegesen egymásra, az eredő erő az alábbi képlettel számítható ki:

$$F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2 + F_z^2} \quad (6)$$

Az összetevőket a következő, empirikus úton megállapított képletekkel számoljuk ki:

$$\begin{aligned} F_z &= C_{F_z} t^{x_{F_z}} s^{y_{F_z}} \\ F_y &= C_{F_y} t^{x_{F_y}} s^{y_{F_y}} \\ F_x &= C_{F_x} t^{x_{F_x}} s^{y_{F_x}} \end{aligned} \quad (7)$$

ahol:

C – egy, az anyag minőségét figyelembe vevő állandó;

t – fogásmélység, [mm];

s – előtolás, [mm/s²];

$x_{F_z}, x_{F_y}, x_{F_x}, y_{F_z}, y_{F_y}, y_{F_x}$ – hatványkitevők.

A mindennapi gyakorlatban, főleg nem túl igényes számításoknál, az összetevő F_x és F_y erőket az F_z függvényeként szoktuk kifejezni az alábbi formában:

$$F_x = k_x F_z \quad (8)$$

$$F_y = k_y F_z$$

$$F_x = k_x F_z$$

A k_x és k_y együtthatók szerszám-geometria- és anyagfüggők. Az alábbi táblázatban (**4. táblázat**) ezek változása figyelhető meg a főélelhelyezési szög függvényében.

4. táblázat

A főél-elhelyezési szög értéke [°]	Acél		Öntvény	
	k_x	k_y	k_x	k_y
30	0,2	0,8	0,3	1,48
45	0,3	0,5	0,5	1,15
60	0,4	0,35	0,55	1
75	0,45	0,3	0,6	0,9
90	0,5	0,2	0,65	0,8

A forgácsolóerő fő összetevője

A továbbiakban a forgácsolóerő fő összetevőjét a következőképpen fejezzük ki:

$$F_z = C t^x s^y \quad (9),$$

ahol az egyszerűség kedvéért lemondtunk a hatványkitevők együtthatóiról.

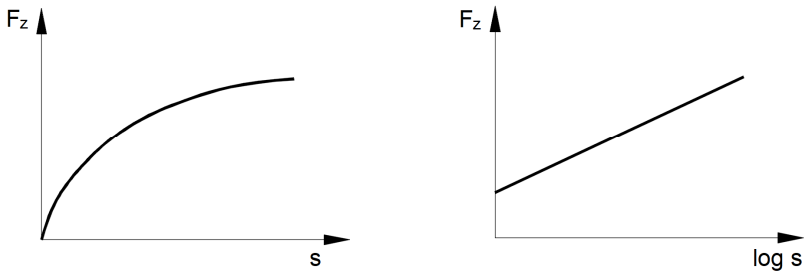
Az állandó és a hatványkitevők értékeit a megmunkált darab anyagminőségének függvényében összeállított táblázatokban találhatjuk meg.

Ezen gyakorlat során egy, az állandó és a hatványkitevők értékeinek meghatározására kidolgozott, a forgácsolóerő fő összetevőjének képletéből induló módszert mutatunk be.

A gyakorlat első részében állandó fogásmélység mellett változtatjuk az előtolást. Ezek alapján felírhatjuk, hogy:

$$F_z = C_1 s^y \quad (10),$$

amely az F_z erőérték hatványos változását jelenti az előtolás függvényében (**14. ábra**).



14. ábra

Logaritmálva a (10) kifejezést, következik:

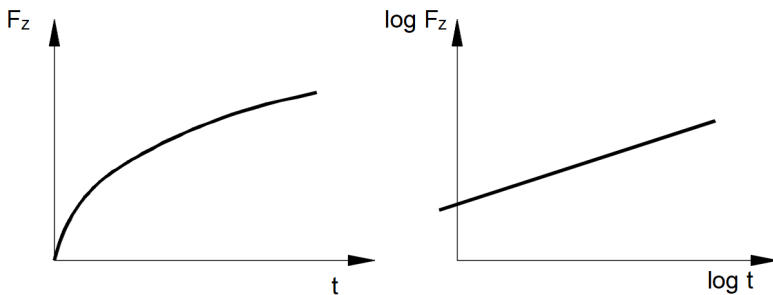
$$\log F_z = \log C_1 + y \log s \quad (11),$$

amely azt mutatja, hogy logaritmikus koordináta-rendszerben az erő logaritmikus értékének változása a logaritmikus előtolás lineáris függvénye, ahol az y együttható éppen az egyenes irányítványozója.

A kísérlet második szakaszában állandó értéken tartva az előtolást, változtatjuk a fogásmélységet. A (9) egyenlet a következő alakot ölti:

$$F_z = C_2 t^x \quad (12),$$

amely a forgácsolóerő főösszetevőjének változását mutatja a fogásmélység függvényében (**15. ábra**).



15. ábra

Logaritmálva a (12) kifejezést, következik az:

$$\log F_z = \log C_2 + x \log t \quad (13)$$

egyenlet, amely azt mutatja, hogy a forgácsolóerő fő összetevőjének logaritmikus változása a logaritmikus fogásmélység lineáris függvénye.

A laboratóriumi gyakorlat lefolyása

A fenti diagramok megrajzolásához szükség van a gyakorlat során beállított forgácsolási paraméterek minden egyes értékére mért forgácsolási erőre. Ezeket az értékeket egy ismert geometriájú esztergakésre ragasztott nyúlásmérő bélyeg és egy 8 csatornás mérőműszer segítségével mérjük.

A mért megnyúlás értékeit, egy hitelesítési diagram alapján, erőmértékegységekre (N) változtatjuk.

A gyakorlat első részében állandó t fogásmélység mellett 4-5 változó előtolással forgácsolunk, és mérjük a fő forgácsolási erő által az esztergakésen előidézett megnyúlást.

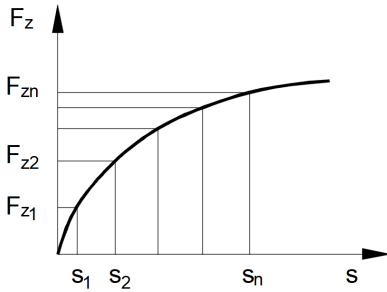
A mért értékeket az **5. táblázatba** jegyezzük fel.

A gyakorlat második felében állandó előtolás mellett 4-5 változó fogásmélységet állítunk be, és mérjük a késen előidézett megnyúlásokat.

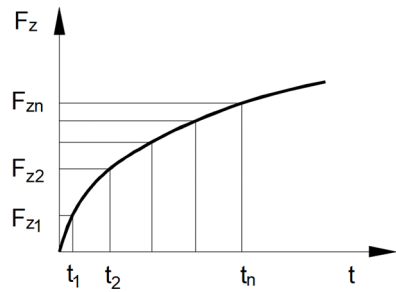
A leolvasott megnyúlásokat a már említett hitelesítési diagram alapján erőmértékegységekben írjuk be a táblázatba.

Az adatok feldolgozása

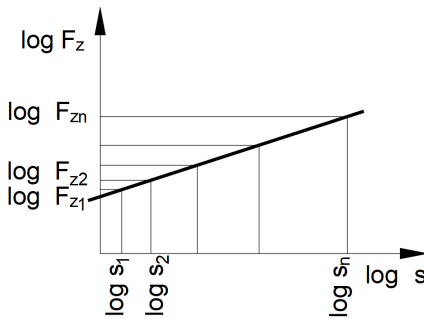
A táblázatba bejegyzett mérési adatok alapján felrajzoljuk milliméterpapírra az $F_z = f_1(s)$ és az $F_z = f_2(t)$ görbéket, a **16. ábra** és **19. ábrán** láthatókhoz hasonlóan.



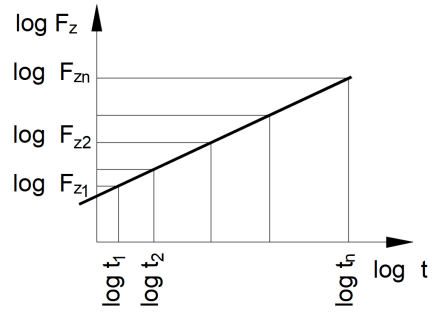
16. ábra



17. ábra



18. ábra



19. ábra

Az x és y hatványkitevők meghatározásához felrajzoljuk a $\log F_z = f_3(\log s)$ és a $\log F_z = f_4(\log t)$ diagramokat, amelyek változása lineáris.

Ha nem minden pont lesz egy egyenesen, akkor az egyenest a pontok között, azoktól egyenlő távolságra húzzuk meg.

Az x és y együttthatókat egyenesen a diagramokról olvassuk le (az egyenesek irányítányezői).

A C állandót a (9) képlet alapján számoljuk:

$$C = \frac{F_z}{t^x s^y} \quad (14),$$

ahol a F_z -hez tartozó értékeket a diagramokról olvassuk le.

Megfigyelések és következtetések

A mért és számított eredményeket az alábbi, ba írjuk. Következtetéseket vonunk le a fő összetevő változását illetően a tanulmányozott tényezők függvényében.

5. táblázat

Sorszám	Forgácsolt anyag			A beállított forgácsolási paraméterek				Az erő nagysága		Számított értékek		
	Minőség	σ_r [MPa]	D [mm]	n [ford/perc]	v [m/perc]	t [mm]	s [mm/ ford]	Megnyúlás [$\mu\text{m}/\text{m}$]	Erő [N]	$\log F_z$	$\log t$	$\log s$
1												
2												
3												
4												
5												
6												
7												
8												
9												
10												
C =					x =				y =			

5. GYAKORLAT

A FAJLAGOS FORGÁCSOLÓERŐ

A gyakorlat célja a fajlagos forgácsolóerő egyenletében szereplő hatványkitevő és az egységi forgácsparamétereknek megfelelő fajlagos forgácsolóerő meghatározása.

Fontos, hogy a hallgatók megismerjék a fajlagos forgácsolóerő számításának módszerét, amelyet szintén használhatnak a forgácsolóerő számítására.

Elméleti alapfogalmak

A fajlagos forgácsolóerő meghatározása

A forgácsolóerő fő komponensét az alábbi empirikus képlettel is számíthatjuk:

$$k_s = \frac{F_z}{S} \quad (15),$$

amelyben:

k_s – a fajlagos forgácsolóerő [MPa];

S – a le nem választott forgács keresztmetszete [mm²].

Az (15) egyenletet az alábbi formában is írhatjuk:

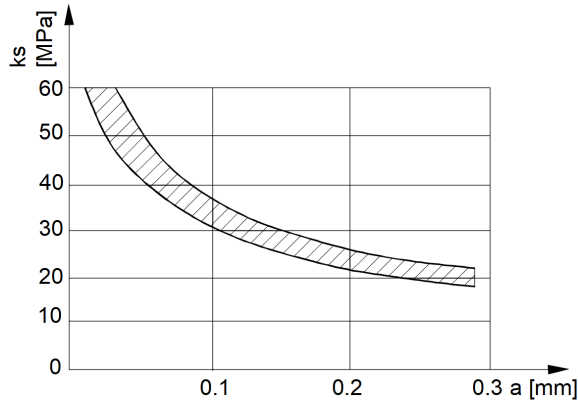
$$k_s = \frac{F_z}{a \cdot b} \quad (16),$$

ahol:

a – a le nem választott forgács vastagsága [mm];

b – a le nem választott forgács szélessége [mm].

A fentiekből következik, hogy a fajlagos forgácsolóerő az egységi forgácskeresztmetszet leválasztásához szükséges erő.



20. ábra

A forgácsolási kísérletek során kiderült, hogy a fajlagos forgácsolóerő a forgácsvastagság függvénye (azonos anyagminőség, szerszám-geometria és forgácsolási paraméterek mellett). Ugyanazon forgácskeresztmetszetenél a fajlagos forgácsolóerő csökken a forgácsvastagság függvényében (**20. ábra**). A fentiekben meghatározott fajlagos forgácsolóerő nem tekinthető anyagállandónak (mivel különböző forgácsvastagságoknak különböző fajlagos forgácsolóerők felelnek meg).

A gyakorlatban ezt a nehézséget úgy hidalták át, hogy bevezették a $k_{s1,1}$ anyagjellemző fajlagos forgácsolóerőt, amely az $a = 1$ mm és $b = 1$ mm egységi keresztmetszetnek felel meg. Mivel a $k_{s1,1}$ értéke ugyanaz egy bizonyos anyagra, ezt az értéket tekintjük anyagjellemzőnek.

A két fajlagos forgácsolóerő közötti összefüggést Kienzle az alábbi formában határozta meg:

$$k_s = \frac{k_{s1,1}}{a^z} \quad (17)$$

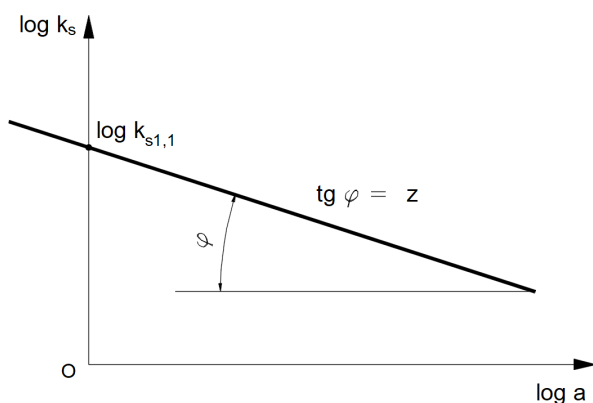
A k_s értékének a kiszámításához szükség van a $k_{s1,1}$ és a z kitevő értékeinek az ismeretére. Ezeket az értékeket táblázatokban adják meg, az

anyagminőségek függvényében, feltüntetve a gyakorlati mérések idején használt szerszám-geometriát és a forgácsolási körülményeket.

Logaritmálva a (17) egyenletet, következik:

$$\log k_s = \log k_{s1,1} - z \log a \quad (18)$$

Logaritmikus koordináta-rendszerben ábrázolva a (18) kifejezést, egy olyan egyenest kapunk, amely a $\log k_s$ tengelyt éppen a $\log k_{s1,1}$ magasságban metszi (21. ábra). Az egyenes és az abszcissa által bezárt hegyes szög tangense pedig egyenlő a z kitevő értékével.

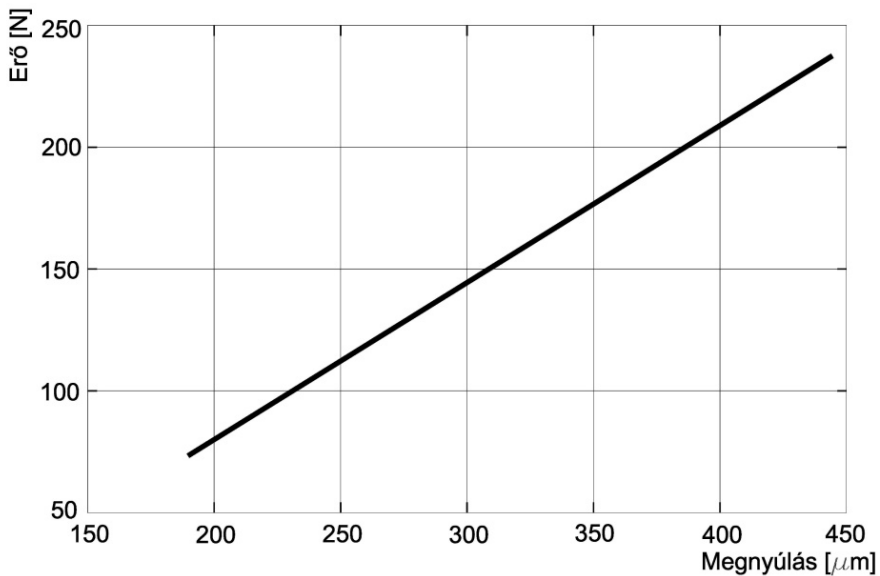


21. ábra

A laboratóriumi gyakorlat lefolyása

A 21. ábra megrajzolásához szükség van a gyakorlat során beállított forgácsolási paramétereknek megfelelő fajlagos forgácsolóerőre, amelyet a fő forgácsolóerő segítségével számítunk ki.

A fő forgácsolóerő értékeit, a gyakorlati mérések idején, az esztergakésre ragasztott nyúlásmérő bélyeg és egy 8 csatornás mérőműszer segítségével mérjük.

**22. ábra**

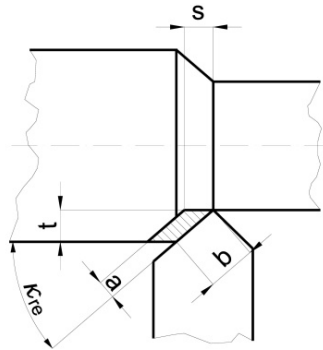
A mért megnyúlás értékeinek függvényében meghatározzuk a forgácsolóerő nagyságát MPa-ban, a **22. ábra** megadott hitelesítési diagram segítségével.

Mivel nehézségeket jelenthet a 1 mm vastagságú forgács leválasztása, ezért több beállított és mért érték segítségével megrajzoljuk a **21. ábra** feltüntetett egyenest, amelyből meghatározzuk a $\log k_{s1,1}$ értékét és ebből a $k_{s1,1}$ értékét.

A gyakorlat első részében $t = 1,5$ mm állandó fogásmélység mellett 4-5 egymástól különböző előtolást állítunk be, és mérjük az esztergakésen előidézett megnyúlásokat.

A gyakorlat második felében $s = 0,2$ mm/ford állandó előtolás mellett 4-5 változó fogásmélységet állítunk be, és az előző esethez hasonló módon mérjük a késen előidézett megnyúlásokat.

A gyakorlat idején beállított és mért értékeket a **6. táblázatban** rögzítjük. Ugyanebbe a táblázatba írjuk be a számított értékeket is.



23. ábra

A forgácsvastagság és az előtolás, valamint a forgácsszélesség és a fogásmélység közötti összefüggést **(23. ábra)** az alábbi képletek segítségével számítjuk:

$$\begin{aligned} a &= s \sin \kappa_r \\ b &= \frac{t}{\sin \kappa_r} \end{aligned} \quad (19)$$

Az adatok feldolgozása

Első lépésként meg kell határozni, a gyakorlat idején beállított előtolások és fogásmélységek függvényében, az ezeknek megfelelő forgácsvastagságokat és forgácsszélességeket, amelyeket a **6. táblázatba** írunk be.

A hitelesítő diagram segítségével meg kell határozni a fő forgácsolóerő nagyságát, a gyakorlati mérések idején használt minden forgácsolási paraméter értékére, amelyek értékeit szintén a **6. táblázatba** kell beírni.

A fenti adatok segítségével kiszámítjuk a k_s megfelelő értékeit az (16) képlet alapján, és rögzítjük ezen értékeket is a **6. táblázatban**.

Ezek után ki tudjuk számítani a $\log k_s$ és a $\log a$ értékeit, amelyeket szintén beírunk a **6. táblázatba**.

A táblázatban szereplő adatok segítségével felrajzoljuk a $\log k_s = f(\log a)$ egyenest, amely segítségével meghatározzuk a keresett két értéket (a $\log k_{s1,1}$ -t és a z kitevőt).

Megfigyelések és következtetések

Megfigyeljük a fajlagos forgácsolóerő változását a forgácsvastagság függvényében.

Meg kell vizsgálni a forgácsszélesség hatását a fajlagos forgácsolóerőre (függ a fajlagos forgácsolóerő a forgácsszélességtől?).

6. táblázat

[illegible]

6. GYAKORLAT

A FORGÁCSOLÓÉL ÁTLAGHŐMÉRSÉKLETE

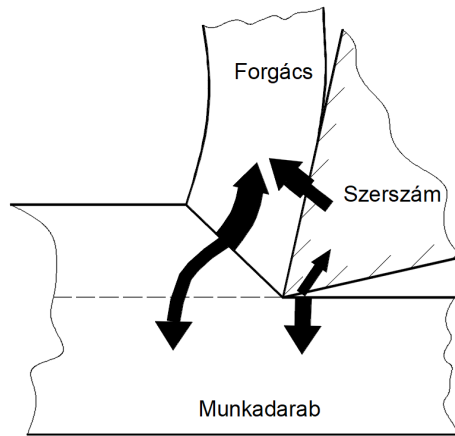
A forgácsolóél hőmérséklete nagymértékben befolyásolja a forgácsolószerszám forgácsolási képességét. Fontos a szerszámél-hőmérséklet ellenőrzéséhez a forgácsolás környezetében lévő átlaghőmérséklet meghatározására használt képletek ismerete.

A jelen dolgozat célja megvizsgálni a különböző forgácsolási paraméterek befolyását a forgácsolóél átlaghőmérsékletére, valamint a számítási képletben szereplő hatványkitevők és állandó meghatározása, kísérleti úton.

Elméleti alapfogalmak

Kísérleti úton bizonyították, hogy a forgácsolás során elhasznált energia (az alakváltozásokhoz, valamint a külső és belső súrlódások legyőzésére felhasznált mechanikai munka) majdnem teljesen hőenergiává alakul. Az elhasznált energiának csupán a töredéke raktározódhat el helyzeti energia alakjában az alkatrészben, mint belső feszültség.

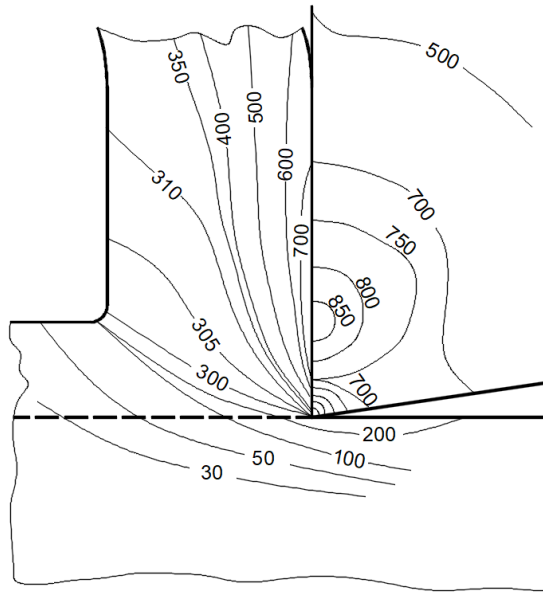
Az anyagfőlősleg forgács formájában való eltávolítása során a hő három fő helyen jelenik meg (**24. ábra**):



24. ábra

- a nyírósíkban, a képlékeny és rugalmas alakváltozások és a belső súrlódások legyőzésére;
- a szerszám homlokfelületén, a homlokfelület és a forgács súrlódásának eredményeként;
- a hátfelületen, a hátfelület és a megmunkált felület között létrejött súrlódás eredményeként.

A forgácsolás során keletkezett hő a forgács, a szerszám, a munkadarab és a környezet veszi át. A keletkezett hő a forgács, a szerszám és a munkadarab hőmérséklet-emelkedését okozza. A forgácsolási hőmérséklet változását a **25. ábrán** látható izoterm vonalak mutatják. Az ábra alapján látható, hogy a maximális hőmérséklet a forgács és a szerszám érintkezési felületén van. A gyakorlatban a szerszám hőmérsékletét tekintik a forgácsolás átlagos hőmérsékletének.

**25. ábra**

Az átlagos forgácsolási hőmérséklet nagymértékben befolyásolja a szerszám éltartamát, amiért ennek ismerete rendkívüli fontosságú.

A szerszám hőmérséklete analitikus vagy empirikus matematikai kifejezésekkel számítható ki. Az empirikus képletek kísérletek során meghatározott összefüggéseken alapszanak.

A gyakorlatban az empirikus képleteket használjuk. Ezek sokkal egyszerűbbek, mint az analitikus módon levezetett egyenletek.

A forgácsolási hőmérséklet, a forgácsolási paraméterek függvényében, az alábbi összefüggéssel számítható ki:

$$\theta = C t^x s^y v^z \quad (20),$$

ahol:

θ – a forgácsolóél hőmérséklete [$^{\circ}\text{C}$];

C – anyagállandó;

t – fogásmélység [mm];

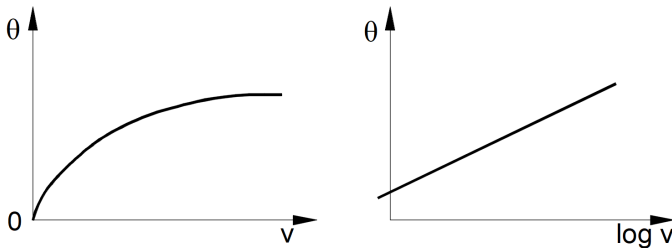
s – előtolás [mm/ford];
 v – forgácsolási sebesség [m/perc];
 x, y, z – együtthatók.

A (20) kifejezésben lévő állandót és a hatványkitevőket táblázatokban adják meg, amelyekben feltüntetik a forgácsolt anyag minőségét, a forgácsolószer-szám geometriáját és a kísérletek során használt forgácsolási körülményeket.

Ha a forgácsolás során állandó előtolás és fogásmélység mellett változtatjuk a forgácsolási sebességet, a (20) kifejezés a következőképpen írható fel:

$$\theta = C_1 v^z \quad (21)$$

A (21) kifejezés azt mutatja, hogy a forgácsolóél hőmérséklete hatványosan nő a forgácsolási sebességgel (**26. ábra**).



26. ábra

Logaritmálva a (21) kifejezést, következik:

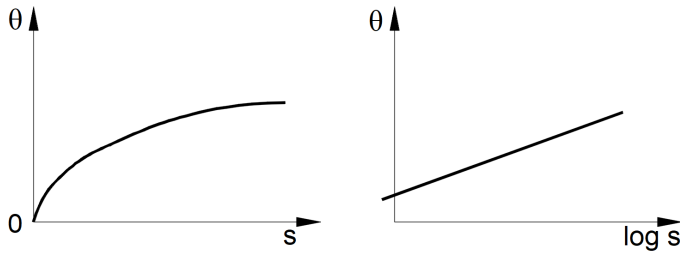
$$\log \theta = \log C_1 + z \log v \quad (22)$$

Megfigyelhető (**26. ábra**), hogy logaritmikus koordináta-rendszerben a (22) kifejezés egy egyenes, ahol a z kitevő az egyenes irányítányezője.

Folytatva a megmunkálást állandó forgácsolási sebesség és fogásmélység mellett, változtatva az előtolást, a következő kifejezést kapjuk:

$$\theta = C_2 s^y \quad (23)$$

A (23) kifejezésben, amint azt a **27. ábra** is mutatja, a forgácsolási él hőmérséklete exponenciálisan növekszik az előtolás függvényében.

**27. ábra**

Logaritmálva a (23) kifejezést, következik:

$$\log \theta = \log C_2 + y \log s \quad (24)$$

A fenti kifejezés azt mutatja, hogy a forgácsolólél hőmérséklet-változási görbéje, logaritmikus koordináta-rendszerben, egy egyenes (**27. ábra**), amelynek irányítényezője éppen az y kitevő.

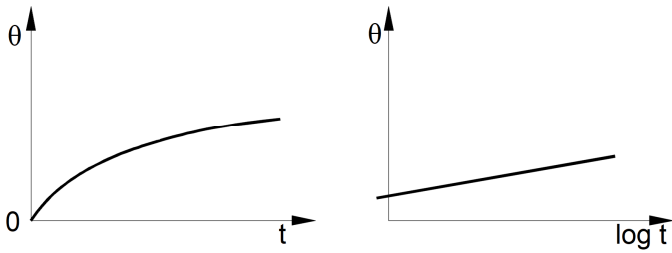
Továbbá, állandó forgácsolási sebesség és előtolás mellett változtatva a fogásmélységet, a (20) kifejezést a következőképpen írhatjuk:

$$\theta = C_3 t^x \quad (25)$$

A fenti kifejezést logaritmálva, következik:

$$\log \theta = \log C_3 + x \log t \quad (26)$$

A (26) kifejezés azt mutatja, hogy a forgácsolólél hőmérséklete exponenciálisan változik a fogásmélység függvényében, változása pedig egy logaritmikus koordináta-rendszerben egy egyenes (**28. ábra**).



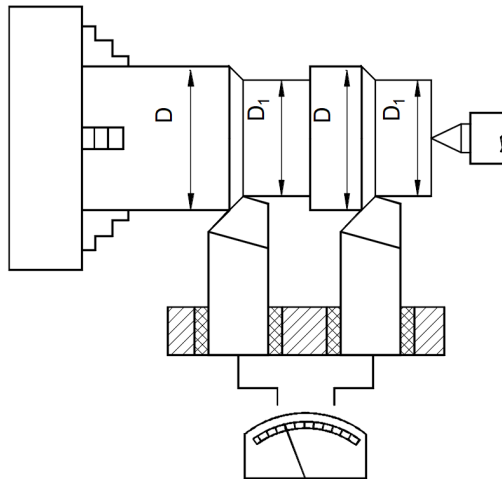
28. ábra

A gyakorlat lefolyása

Az elméleti fogalmak fejezetben ismertetett hatványkitevők és állandó meghatározásához, meg kell mérnünk az él közvetlen környezetének átlaghőmérsékletét, minden tervezett beállítási faktorkombinációra.

Ez a gyakorlat során egy hőelem segítségével történik.

A hőelemek működési elve: két különböző anyagú fémvezetőt egy fémfürdőbe helyezve, ennek hőmérsékletét változtatva, a két fémvezető szabad végén potenciálkülönbség jelenik meg, amely a fémfürdő hőmérsékletének függvénye. Ez a potenciálkülönbség a fémvezetők anyagától is függ, de nem függ a fémfürdő anyagától.



29. ábra

A **29. ábrán** látható berendezésben a két különböző anyagú esztergakés a fémvezetékek szerepét tölti be, az esztergált darab pedig a fémfürdőét. A hőelem melegpontjai éppen az esztergakések forgácsolóélei.

Az egyik kés anyaga gyorsacél, a másik pedig keményfém lapkás.

A két kés geometriája azonos kell, hogy legyen, és a megmunkálás során ugyanolyan forgácsolási paraméterekkel kell dolgozniuk.

A használt galvanométer skáláján mért értékek egyenesen Celsius-fokban olvashatók le.

A forgácsolást egy C45 EN 10083-2:2006 anyagminőségű rúdon végezzük.

Az esztergakések geometriája a következő: $\kappa_o = 45^\circ$, $\gamma_o = 15^\circ$, $\lambda_o = 0^\circ$, $r = 2$ mm.

Az első megmunkálást állandó $s = 0,2$ mm/ford előtolással, állandó $t = 1,5$ mm fogásmélységgel és 4-5 különböző, $v = 20 - 80$ m/perc között beállított forgácsolósebességgel végezzük.

A második megmunkálás sorozatát, állandó $v \approx 50$ m/perc forgácsolósebességgel, állandó $t = 1,5$ mm fogásmélységgel és $s = 0,08 - 0,05$ mm/ford közötti, 4-5 különböző előtolással végezzük.

A harmadik megmunkálássorozatot, állandó $v \approx 50$ m/perc forgácsolósebességgel, állandó $s = 0,2$ mm/ford előtolással és 4-5 különböző, $t = 0,5 - 2,5$ mm közötti fogásmélységgel végezzük.

Az adatok feldolgozása

A mért eredményeket a **7. táblázatba** írjuk be.

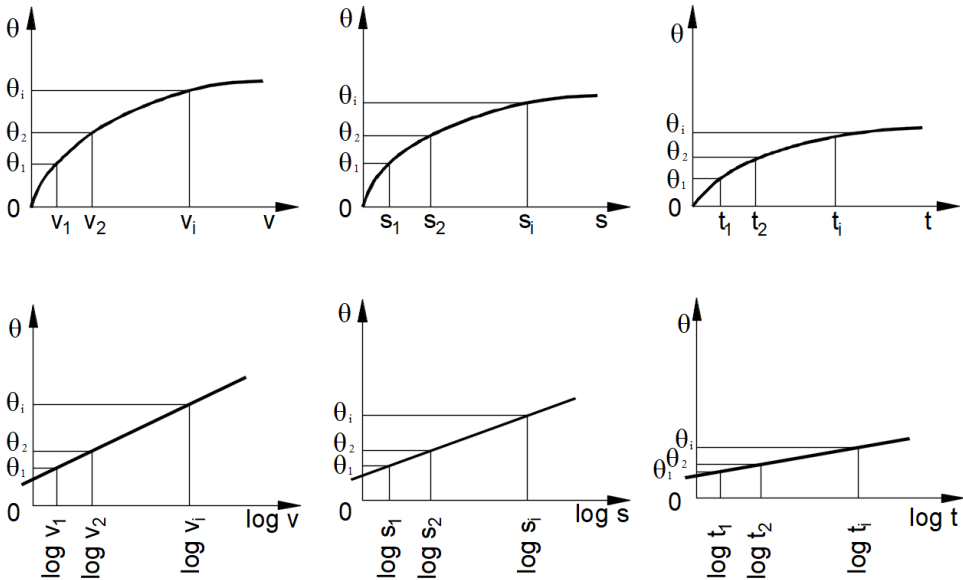
Milliméterpapíron megrajzoljuk a $\theta = C_1 v^z$, a $\theta = C_2 s^y$ és a $\theta = C_3 t^x$ görbét.

Meghúzzuk a $\log \theta = \log C_1 + z \log v$, a $\log \theta = \log C_2 + y \log s$ és a $\log \theta = \log C_3 + x \log t$ egyeneseket. Ha az értékek nem egy egyenesen vannak, akkor az egyenest a pontok között húzzuk meg, ezektől egyenlő távolságra. Ezzel a legkisebb négyzetek módszerének grafikus közelítését végezzük el.

A **30. ábrához** hasonló ábrákat kell kapnunk.

Az C állandót az alábbi kifejezésből kapjuk meg, kiválasztva egyet a mért hőmérsékletekből, a hozzá tartozó forgácsolási sebességgel, előtolással és fogásmélységgel:

$$C = \frac{\theta}{t^x s^y v^z} \quad (27)$$



30. ábra

Megfigyelések és következtetések

A kapott eredmények alapján kiszámítjuk a hatványkitevők értékeit és a C állandót (a forgácsolóerőnél használt módszerhez hasonlóan, az egyenesek irányítványozójaként).

Következtetéseket vonunk le a hőmérséklet változásáról a forgácsolási paraméterek függvényében.

Megfigyelve a diagramokat, megállapítjuk, hogy melyik paraméternek van a legnagyobb befolyása a forgácsolólél átlaghőmérséklet változására.

7. GYAKORLAT

AZ ANYAGOK FORGÁCSOLHATÓSÁGA

A dolgozat első része a forgácsolhatóság meghatározását, valamint a fémek forgácsolhatósága értékelésének módozatait mutatja be.

A dolgozat második részében különböző fémek forgácsolhatóságát határozzák meg a hallgatók, a keresztesztergálási módszer felhasználásával.

A gyakorlat célja a Time–Taylor-képletben szerepelő z és C értékek kiszámítása.

Elméleti alapfogalmak

A forgácsolhatóság meghatározása

Egy anyag forgácsolás idején tanúsított viselkedését az illető anyag forgácsolhatósága jellemzi.

Eleinte a forgácsolhatóságot (megmunkálhatóságot) anyagjellemzőnek tekintették, de mivel később megfigyelték, hogy ugyanaz az anyag különböző megmunkálások alatt különbözőképpen viselkedik, a mai álláspont szerint a forgácsolhatóság meghatározása a forgácsolásban részt vevő összes elem figyelembevételével történhet.

Egy anyag forgácsolhatósága függ a művelettípustól (esztergálás, fúrás, marás, köszörülés stb.), a megmunkálandó anyag minőségétől, az előgyártmány előállítási technológiájától (hengerlés, öntés, húzás stb.), a megmunkálás előtt alkalmazott hőkezeléstől, a szerszámanyag minőségétől, valamint a szerszám élgeometriájának értékeitől, a megmunkálás idején beállított forgácsolási paraméterek értékétől, a generált felület megmunkálására előírt feltétektől stb.

A forgácsolhatóság többféleképpen értékelhető. Egy bizonyos anyagnak jobb a forgácsolhatósága, ha ugyanazt az éltartamot magasabb vágósebesség esetén biztosítja, vagy ha ugyanazon forgácsolási feltételek mellett a szerszámkopás folyamata lassúbb (a szerszáméltartam nagyobb), a forgácsolási erők kisebb értékűek, a megmunkálási energiaszükséglet kisebb, a forgácsolási zóna hőmérséklete alacsonyabb, a megmunkált felület minősége jobb, a képződő forgács méretei megfelelőbbek, stb.

Többszöri próbálkozás után sem sikerült egy egységes, általánosan elfogadott, forgácsolhatósági jellemző meghatározását biztosító módszer kidolgozása, mivel a forgácsolhatóság nagyon sok változótól függ, és különböző megmunkálási módok esetén különböző lehet. Ezért jelenleg öt bevizsgálási kritériumot használnak a forgácsolhatóság meghatározására:

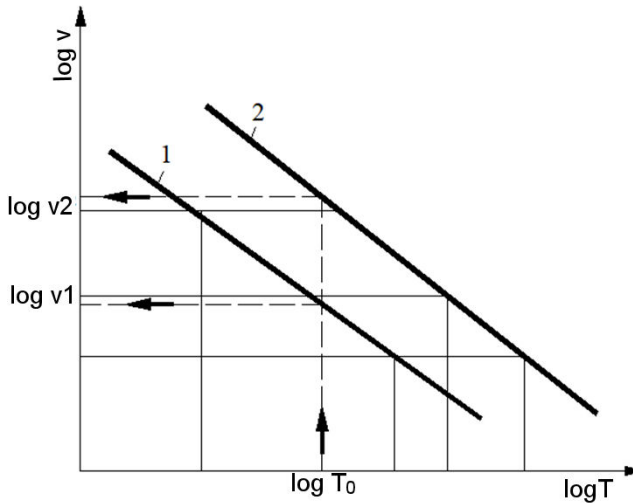
- szerszámkopás vagy szerszáméltartam, esetleg olyan értékek, amelyek ezekre vezethetők vissza;
- átlagos hőmérséklet a forgácsolási zónában;
- a forgácsolási erő (az energiaszükséglet) értéke;
- a megmunkált felület minősége;
- a forgács méretei és minősége.

Nincsen olyan anyag, amely maximális forgácsolhatósággal rendelkezne mind az öt vizsgálási kritériumnak megfelelően. A forgácsolhatóság meghatározására használt kritériumot rendszerint a munkadarabbal szemben támasztott igények határozzák meg.

A forgácsolhatóságot nem lehet valamilyen értékkel jellemezni, ez csak ugyanolyan körülmények között megmunkált, különböző anyagokra kapott értékek összehasonlításával, vagyis ezek relatív értékével fejezhető ki. Rendszerint a forgácsolhatóság jellemzésére olyan értékek arányát használjuk, amelyeket ugyanolyan körülmények között megmunkált etalon-, illetve tanulmányozott anyagra kapunk.

A forgácsolhatóság viszonyszáma azt mutatja, hogy a tanulmányozott anyag megmunkálhatósága kisebb vagy nagyobb, mint az etalon anyag megmunkálhatósága.

A forgácsolhatóság értékelése

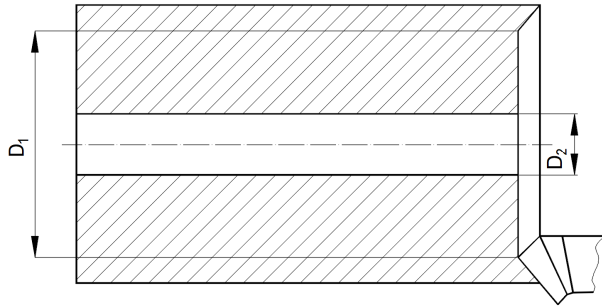


31. ábra

A forgácsolhatóság értékelésére felhasználhatjuk a $\log v = f(\log T)$ diagramot, amely minden anyagra egy egyenes (**31. ábra**). Ezeket az egyeneseket megrajzoljuk minden tanulmányozott anyagra, és ezek segítségével állapítjuk meg, hogy melyik anyagnak jobb a forgácsolhatósága. A 2. anyagnak jobb a forgácsolhatósága, mint az 1. anyagnak (**31. ábra**), mert a 2. anyag nagyobb vágósebességgel forgácsolható ugyanazon éltartam mellett.

A forgácsolhatóság meghatározása keresztesztergálással

A forgácsolhatóság megállapítása nagyon időigényes rudak esztergálása esetén.



32. ábra

A kísérleti idő nagymértékben csökkenthető a kereszttesztgálási módszer segítségével. Ebben az esetben a mintadarab tárcsa alakú, amelyet keresztelőlátással forgácsolunk a belső átmérőtől a külső átmérő irányába. A forgácsolás a D_1 belső átmérőnél kezdődik, amelynek a v_1 vágósebesség felel meg, és befejeződik a D_2 átmérőnél (amely a forgácsolóél teljes elkopásának az átmérője). A D_2 átmérőn a forgácsolási sebesség v_2 (**32. ábra**).

A gyakorlat alatt a Time–Taylor-összefüggést rajzoljuk meg $\log v - \log T$ diagramban, a kereszttesztgálás idején mért eredmények alapján. A Time–Taylor-összefüggés ismert alakja:

$$T = \frac{C}{v^z} \quad (28)$$

A fenti összefüggés logaritmikus alakja a következő:

$$\log T = \log C - z \log v \quad (29)$$

A (29) függvény grafikus képét a **33. ábra** mutatja. Az ábrán látható egyenes ábrázolásához szükségesek a z és a C értékei. A gyakorlat célja ezen értékek kiszámítása az alább leírt módon.

A **32. ábrán** feltüntetett méretek alapján, a kereszttesztgálás elvégzéséhez szükséges idő (amely a kés éltartalma) a következő összefüggéssel számítható ki:

$$T = \frac{D_2 - D_1}{2 n s} \quad (30),$$

ahol:

- n – a munkadarab fordulatszáma [ford/perc];
- s – a radiális előtolás [mm/ford].

Keresztesztergálásnál a vágósebesség arányosan nő a forgácsolókéssel radiális elmozdulásával. A forgácsolás kezdetén, a D_1 átmérőn a vágósebesség értéke v_1 , a D_2 átmérőn a vágósebesség értéke v_2 . A hibák csökkentése miatt a v_1 és v_2 forgácsolósebességek középértékét helyettesítjük be a Time–Taylor-képletbe, amely az alábbi módon számítható ki:

$$v_{\text{kozep}} = \frac{v_1 + v_2}{2}$$

A fentiek alapján a Time–Taylor-összefüggés a következőképpen írható:

$$T = \frac{C}{v_{\text{kozep}}^z} \quad (31)$$

Egyenlővé téve a (30) és (31) egyenleteket, a számítások elvégzése után a következő összefüggést kapjuk:

$$\frac{500(v_2 - v_1)}{\pi n^2 s} = \frac{2^z C}{(v_1 + v_2)^z} \quad (32)$$

Mivel a v_1 értéke sokkal kisebb a v_2 értékénél, a v_1 elhanyagolható a v_2 -höz képest. Ezt figyelembe véve a (32) egyenlet az alábbi formában írható le:

$$v_2^{z+1} = \frac{2^z \pi n^2 s C}{500} \quad (33)$$

Ebből az egyenletből kell meghatározni a z és C értékét. Ez úgy lehetséges, hogyha a forgácsolást két különböző fordulatszámmal végezzük. A (33) összefüggés, a két különböző fordulatszámmal végzett keresztesztergálás esetére, a következő formában írható le:

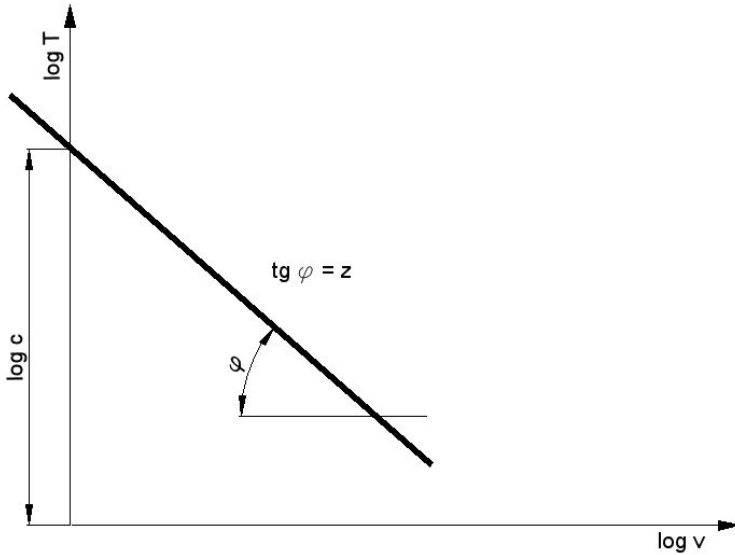
$$v_{2,1}^{z+1} = \frac{2^z \pi C n_1^2 s}{500} \text{ és } v_{2,2} = \frac{2^z \pi C n_2^2 s}{500} \quad (34)$$

Elosztva a első egyenletet a másodikkal, következik:

$$\left(\frac{v_{2,1}}{v_{2,2}} \right)^{z+1} = \left(\frac{n_1}{n_2} \right)^2 \quad (35)$$

amelyből, logaritmálás és rendezés után megkapjuk a z kitevő értékét:

$$z = 2 \frac{\log \left(\frac{n_1}{n_2} \right)}{\log \left(\frac{v_{2,1}}{v_{2,2}} \right)} - 1 \quad (36)$$



33. ábra

A (36) egyenlet segítségével ki lehet számítani a z értékét, a C értéke pedig a (34) egyenletek bármelyikéből kiszámítható. Az így kapott z és C értékek segítségével megrajzoljuk a $\log v - \log T$ koordináta-rendszerben (a **33. ábra**

alapján) a forgácsolhatóság megállapítására szükséges egyenest. Minden megmunkált anyaghoz felrajzoljuk, a kapott z és $\log C$ alapján, a megfelelő egyenest.

A gyakorlat végrehajtása

A gyakorlat elkezdése előtt el kell készíteni a megmunkálandó tárcsákat a tanulmányozandó anyagokból. A forgácsolósebességet úgy kell megválasztani (a megmunkálandó anyagminőség függvényében), hogy a keresztesztergálás idején a forgácsolókések elkopjon a külső átmérő elérése előtt.

Az esztergakést gyorsacélból készítjük, a gyorsabb kopás elérése céljából. Minden tárcsa megmunkálása előtt újrafenjűk a forgácsolókést, ügyelve a késgeometria azonosságára minden esztergálás idején.

Minden tárcsán két esztergálást végzünk, két különböző fordulatszámmal. Lemérjük azokat az átmérőket, amelyeknél megjelenik a teljes késkopás (egy tolmérce segítségével), és kitöltjük a **8. táblázat** oszlopait.

Az eredmények feldolgozása

A keresztesztergálás a D_1 átmérőn kezdődik, amely a megmunkálandó tárcsába kialakított furat átmérője. A D_2 átmérő a tárcsa azon átmérője, amelyen a forgácsolást elvégző esztergakés elveszítette a forgácsolóképeségét. A D_2 átmérőknek megfelelő vágósebességeket az alábbi képletekkel számítjuk:

$$v_{2,1} = \frac{\pi D_{2,1} n_1}{1000} \text{ és } v_{2,2} = \frac{\pi D_{2,2} n_2}{1000} \quad (37)$$

Mindenik forgácsolt anyagra ki kell számítani a z , a C és a v értékeit az n_1 és n_2 fordulatszámok függvényében.

A **8. táblázatba** beírjuk a mért és a számított eredményeket.

A számított értékek segítségével felrajzoljuk, a $\log v - \log T$ koordináta-rendszerben, az éltartamegyeneseket, minden megmunkált anyagra, amelyek segítségével megállapítjuk, hogy a tanulmányozott anyagok közül melyiknek jobb a forgácsolhatósága.

Az eredmények értékelése

Próbálunk kapcsolatot teremteni a megmunkált anyag minősége és a forgácsolhatósága között.

Összefüggést keresünk a D_2 átmérő és a forgácsolhatóság között.

Próbáljuk megállapítani, számítások elvégzése nélkül, hogy melyik anyag forgácsolhatóbb.

8. táblázat

Sorszám	Forgácsolt anyag		Beállított értékek			Mért értékek		Számított értékek			
	Minőség	Szakítófe-szültség [MPa]	n [ford/perc]	s [mm/ford]	T [perc]	D_1 [mm]	D_2 [mm]	v [m/p]	z	C	$\log C$
1											
2											
3											
4											

8. GYAKORLAT

A GENERÁLOGÖRBÉK TANULMÁNYOZÁSA

Jelen dolgozat célja a generálogörbék tanulmányozása, azon belül is a formai szempont szerinti osztályozásuk.

Fontos a kinematikai koordináta-rendszer, valamint a generálásik meghatározása és ennek értelmezése. Ez szükséges a generálogörbék analitikus egyenleteinek a felírásakor.

Elméleti alapfogalmak

Egy geometriai felület elméletileg úgy fogható fel, mint egy térbeli háló, mely egyszerű matematikai kifejezésekkel adható meg. Analitikus geometriából tanultak alapján egy felületet a térben adott törvényszerűség alapján mozgó görbe ír le, vagyis a görbe egymás utáni helyzetei alkotják a felületet. Ezt a mozgó görbét generálogörbének nevezzük.

A generálogörbe egy adott pontja mozgás közben egy másik görbét hoz létre, melyet úgy is tekinthetünk, hogy a generálogörbe ezen a görbén támaszkodik, miközben elmozdul. Ez a másik görbe a vezérgörbe.

E laborgyakorlat keretén belül kizárólag a generálogörbével foglalkozunk.

A generálogörbék különböző alakúak lehetnek, melyek függenek a kialakított felület formájától, a felület kialakításának módjától, a megmunkálás módjától, a szerszámtól és a szerszámgéptől. A felületek műszaki generálásakor a generálogörbét mindig síkgörbének tekintjük, mely a generálásikban található. A generálásik meghatározása érdekében be kell vezetni egy koordináta-rendszert, melyet kinematikai koordináta-rendszernek nevezünk.

A kinematikai koordináta-rendszer

A szerszámgépek kinematikai koordináta-rendszereit az ISO 841:2001 nemzetközi szabvány határozza meg. A kinematikai koordináta-rendszer a szerszámgéphez kötött, derékszögű, jobb sodrású rendszer, melyet bármely szerszámgép esetében ugyanazon elv alapján kell felvenni. Ezt álló koordináta-rendszernek is nevezik, melynek tengelyeit a főtengely és a csúszóvezetékek adják:

- az OZ tengely iránya és irányítása megegyezik a fő vágósebesség irányával és irányításával;
- az OY tengely iránya és irányítása megegyezik a radiális forgácsolási erő irányával és irányításával;
- az OX tengely iránya a munkadarab vagy a szerszám forgástengelye, és irányítását úgy kell megválasztani, hogy a rendszer jobb sodrású legyen.

Az így meghatározott koordináta-rendszer XOY síkja képezi a generálósíkot. Ebben a síkban található a generálógörbe.

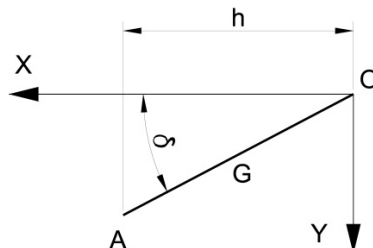
A generálógörbék osztályozása formai szempont szerint

A generálógörbék formai szempont szerint lehetnek:

- egyszerű;
- összetett;
- nem analitikus generálógörbék.

Az egyszerű generálógörbe

Az egyszerű generálógörbék azok, amelyek egyetlen matematikai egyenlettel leírhatóak. Az esetek többségében a generálógörbe megegyezik a kialakított felület generátorával vagy profiljával.

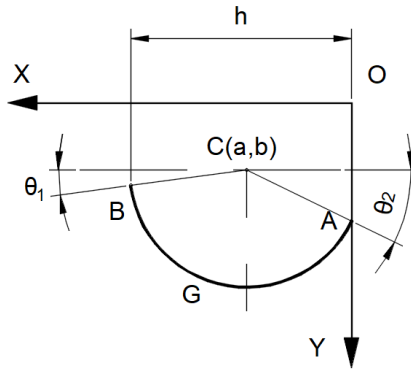


34. ábra

A **34. ábra** egy kúp generálgörbáját szemlélteti a generálósíkban. A kúp forgástengelye az OX tengely, és generátora az $\overline{OA}$ szakasz, ami tulajdonképpen a generálgörbe. A generálgörbe parametrikus egyenlete:

$$\begin{cases} x(\lambda) = \lambda \cos \delta \\ y(\lambda) = \lambda \sin \delta \\ z(\lambda) = 0 \end{cases} \quad (38),$$

ahol a futóparaméter a λ , $\lambda \in \left[0, \frac{h}{\cos \delta}\right]$ és δ a kúp félnyílásszöge.



35. ábra

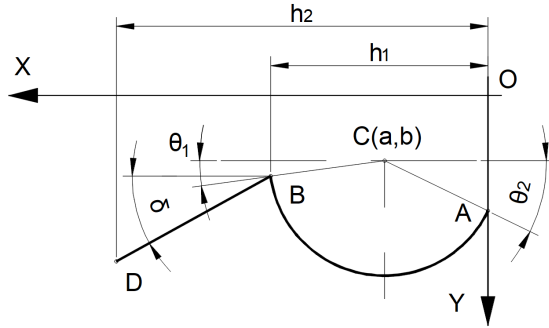
Egy másik egyszerű generálgörbe az $\widehat{AB}$ körív, mely a **35. ábrán** látható. Ha ezt a generálgörbét megforgatjuk az OX tengely körül, szintén egy forgástestet eredményez, mely egy hordós alakú test lesz. A generálgörbe parametrikus egyenlete:

$$\begin{cases} x(\theta) = a + R \cos \theta \\ y(\theta) = b + R \sin \theta \\ z(\theta) = 0 \end{cases} \quad (39),$$

ahol $\theta \in \left[\arccos \frac{h-a}{R}, \pi - \arccos \frac{a}{R}\right]$.

Az összetett generálógörbe

Az összetett generálógörbét több egyszerű generálógörbe-szakasz alkotja, mely mindegyikének fel kell írni a matematikai egyenletét.



36. ábra

A **36. ábrán** látható egy forgásfelület generátora, mely a forgásfelület generálógörbéje. Ez a generálógörbe két egyszerű generálógörbéből tevődik össze:

- az $\widehat{AB}$ körív, melynek középpontja a $C(a, b)$ pont;
- a $\overline{BD}$ szakasz, mely egy δ szöget képez az OX tengellyel.

E két egyszerű generálógörbe egyenleteit külön-külön kell felírni, melyek a következők:

- az $\widehat{AB}$ körív:

$$\begin{cases} x(\theta) = a + R \cos \theta \\ y(\theta) = b + R \sin \theta \\ z(\theta) = 0 \end{cases}$$

$$\text{ahol } \theta \in \left[\pi + \arccos \frac{h_1 - a}{R}, 2\pi - \arccos \frac{a}{R} \right];$$

- a $\overline{BD}$ szakasz:

$$\begin{cases} x = \lambda \\ y = r, \\ z = 0 \end{cases}$$

$$\text{ahol } \lambda \in [h_1, h_2].$$

Nem analitikus generálógörbe

A nem analitikus generálógörbéket nem lehet felírni átfogó analitikus képletek segítségével, ezeket pontok koordinátájával, táblázatosan, illetve a pontsorra épített közelítőgörbékkel (spline, bézier, nurbs) lehet megadni.

A gyakorlat végrehajtása, az eredmények kiértékelése

A laborgyakorlat során a diákok tanulmányozzák az egyszerű és összetett generálógörbéket, majd számítógépes környezetben ábrázolják azokat, tanulmányozva a paraméterek változtatásának hatásait.

9. GYAKORLAT

A VEZÉRGÖRBÉK TANULMÁNYOZÁSA

Jelen dolgozat célja a vezérgörbék tanulmányozása, azon belül is a formai szempont szerinti osztályozásuk.

Fontos a kinematikai koordináta-rendszer meghatározása és ennek értelmezése, mivel a vezérgörbék analitikus egyenleteinek felírása ebben a koordináta-rendszerben történik.

Elméleti alapfogalmak

Egy geometriai felület elméletileg úgy fogható fel, mint egy térbeli háló, mely egyszerű matematikai kifejezésekkel adható meg. Analitikus geometriából tanultak alapján egy felületet a térben adott törvényszerűség alapján mozgó görbe ír le, vagyis a görbe egymás utáni helyzetei alkotják a felületet. Ezt a mozgó görbét generálógörbének nevezzük.

A generálógörbe egy adott pontja mozgás közben egy másik görbét hoz létre, melyet úgy is tekinthetünk, hogy a generálógörbe ezen a görbén támaszkodik, miközben elmozdul. Ez a másik görbe a vezérgörbe.

E laborgyakorlat keretén belül kizárólag a vezérgörbével foglalkozunk.

A vezérgörbét a szerszámgép kinematikai láncai hozzák létre, mely mozgások a kinematikai koordináta-rendszerben értelmezettek, de ismert olyan eset is (menetvágó, menetfűró), ahol a vezérgörbét is a szerszám hozza létre, a szerszámgép csupán egy követő előtolást biztosít.

A kinematikai koordináta-rendszer

A szerszámgépek kinematikai koordináta-rendszereit az ISO 841:2001 nemzetközi szabvány határozza meg. A kinematikai koordináta-rendszer a

szerszámgéphez kötött, derékszögű, jobb sodrású rendszer, melyet bármely szerszámgép esetében ugyanazon elv alapján kell felvenni. Ezt álló koordináta-rendszernek is nevezzük, melynek tengelyeit a főtengely és a vezetékek adják:

- az OZ tengely iránya és irányítása megegyezik a fő vágósebesség irányával és irányításával;
- az OY tengely iránya és irányítása megegyezik a radiális forgácsolási erő irányával és irányításával;
- az OX tengely iránya a munkadarab vagy a szerszám forgástengelye, és irányítását úgy kell megválasztani, hogy a rendszer jobb sodrású legyen.

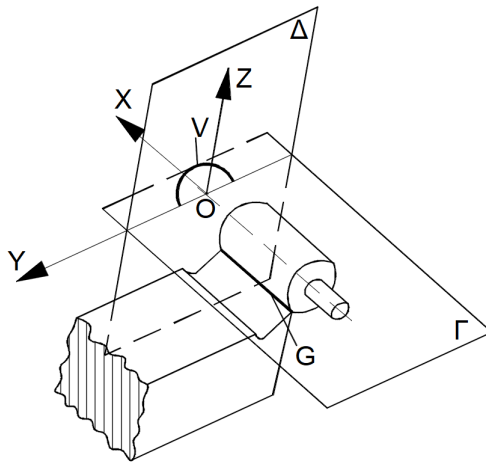
Mivel a vezérgörbe esetén nem jelenthető ki, hogy síkgörbe, ezért nem minden esetben lehet meghatározni egy vezérsíkot.

A vezérgörbék formai szempont szerint lehetnek:

- egyszerű;
- összetett;
- nem analitikus vezérgörbék.

Az egyszerű vezérgörbe

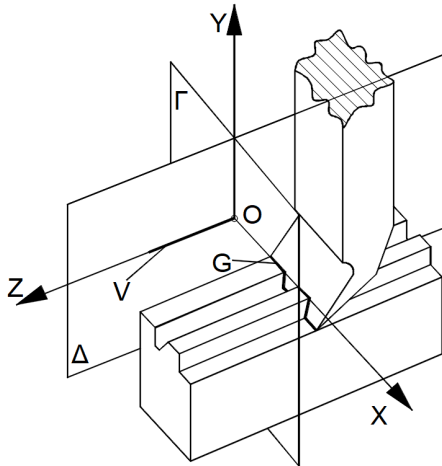
Az egyszerű vezérgörbék csoportjába csak az egyenes és a kör tartozik, ellenében az egyszerű generálgörbékkel. Elmondható, hogy az egyszerű vezérgörbék síkgörbék, tehát ezek benne vannak a vezérsíokban.



37. ábra

Esztergálással kialakított forgásfelület elméleti generálása során a generáló-görbe egy körpályán mozdul el, mely körpálya tulajdonképpen a vezérgörbe. A valóságban azonban a munkadarab forog és a szerszám áll (**37. ábra**).

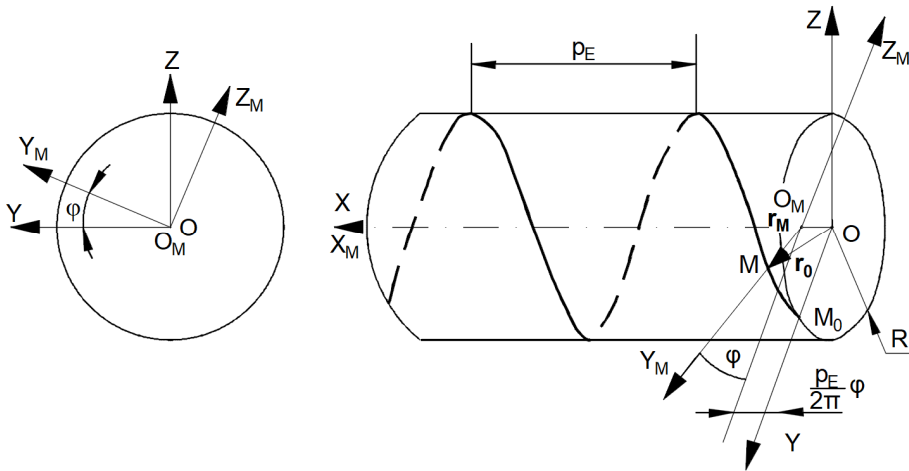
Egy profilos alkatrész gyalulása során a vezérgörbe egy egyenes, melyet a szerszám gép vezetője hoz létre (**38. ábra**).



38. ábra

Az összetett vezérgörbe

A kör és az egyenes, mint vezérgörbe, nem elégséges a bonyolult felületek generálása során. Éppen ezért vannak az összetett vezérgörbék, melyeket e két egyszerű vezérgörbe kombinációjából kapunk. Ilyenek a hengeres csavarvonal, a kúpos csavarvonal és az Arkhimédész-féle spirális, melyeket a továbbiakban részletesebben tárgyalunk.



39. ábra

A hengeres csavarvonal (**39. ábra**) egy haladó és egy forgó mozgás kombinációjából jön létre. A haladó mozgást a forgástengely mentén kell biztosítani, mely tulajdonképpen a hosszirányú eltolás. A forgás szintén a forgástengely körül történik, melyet a fő mozgás, a főorsó forgó mozgása hoz létre. Ha e két mozgás sebessége állandó, akkor egy állandó menetemelkedésű hengeres csavarvonalat kapunk.

A **39. ábra** látható vezérgörbét az M pont írja le: kezdetben az M_0 pontból indul és egy φ szögű, csavartengely körüli elfordulás, valamint egy $\frac{p_E}{2\pi} \varphi$ elmozdulás után eljut az M pontba, ahol p_E a hengeres csavarvonal állandó menetemelkedése. Mialatt a munkadarab elfordul egy teljes fordulatot (2π), addig a csavarvonalon található M pont is halad a forgástengely mentén egy p_E emelkedésnyi távolságot.

A **39. ábra** látható $O_M X_M Y_M Z_M$ koordináta-rendszer egy olyan mozgó koordináta-rendszer, mely kezdetben egybeesik a kinematikai koordináta-rendszerrel, majd mozgás során az M ponttal együtt forog és halad.

Az M pont koordinátái a mozgó koordináta-rendszerben

$$\begin{cases} x_M = 0 \\ y_M = R \\ z_M = 0 \end{cases} \quad (40),$$

melynek helyvektora: $\mathbf{r}_M = x_M \mathbf{i} + y_M \mathbf{j} + z_M \mathbf{k}$

Az M pont helyzete felírható az álló koordináta-rendszerben:

$$\mathbf{r}_D = \mathbf{M}_{0M} \mathbf{r}_M \quad (41)$$

A (41) kifejezésben szereplő $\mathbf{M}_{0M}$ egy transzformációs mátrix, mely tartalmazza a mozgó és álló koordináta-rendszerek közötti mozgást:

$$\mathbf{M}_{0M} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & \frac{p_E \varphi}{2\pi} \\ 0 & \cos \varphi & -\sin \varphi & 0 \\ 0 & \sin \varphi & \cos \varphi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (42)$$

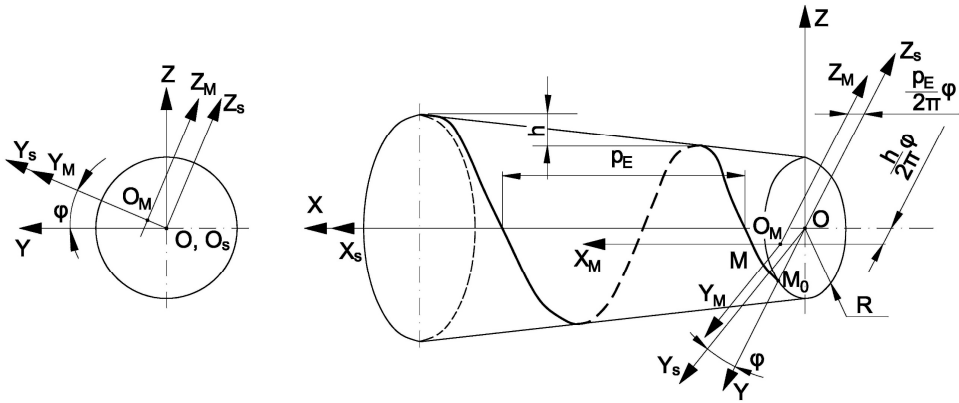
Behelyettesítve a (40) és (42) kifejezéseket a (41) egyenletbe, megkapjuk a hengeres csavarvonal egyenletét mátrixos alakban:

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & \frac{p_E \varphi}{2\pi} \\ 0 & \cos \varphi & -\sin \varphi & 0 \\ 0 & \sin \varphi & \cos \varphi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ R \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} \quad (43)$$

mely parametrikus alakban írva a következőképpen néz ki:

$$\begin{cases} x(\varphi) = \frac{p_E \varphi}{2\pi} \\ y(\varphi) = R \cos \varphi \\ z(\varphi) = R \sin \varphi \end{cases} \quad (44)$$

A kúpos csavarvonal úgy keletkezik, hogy a munkadarab tengelye körüli forgás van összehangolva egy hossz- és egy keresztirányú előtolással. Ha a szögsebesség és a haladó mozgások sebességei állandóak, akkor egy állandó emelkedésű kúpos csavarvonalat kapunk (**40. ábra**).



40. ábra

Az M pont írja le a kúpos csavarvonalat, mely hozzá van kötve az $O_M X_M Y_M Z_M$ mozgó koordináta-rendszerhez. Parametrikus egyenleteinek levezetéséhez szükséges egy $O_s X_s Y_s Z_s$ segéd-koordinátarendszert is bevezetni. A segédrendszer origója hozzá van kötve az álló koordináta-rendszer origójához, és csak elfordulást végez az OX tengely körül, míg az M ponthoz rögzített $O_M X_M Y_M Z_M$ koordináta-rendszer az $O_s X_s Y_s Z_s$ segédrendszerhez képest X , illetve Y irányú haladó mozgást végez, mégpedig a segédrendszer elfordulásával összehangolt módon. A munkadarab egy teljes elfordulása során az M pont is halad tengelyirányban a p_E , míg radiális irányban egy h emelkedéssel. Az egyenes arányosság következményeként adott φ szögelfordulás esetén tengelyirányban $\frac{p_E}{2\pi} \varphi$, míg radiális irányban $\frac{h}{2\pi} \varphi$ távolságot halad.

A kúpos csavarvonal felírását az álló koordináta-rendszerben kell elvégezni, amely két lépésben történik: a mozgó koordináta-rendszerből át kell térni a segédrendszerbe, majd innen az álló koordináta-rendszerbe.

Az M pont koordinátái a mozgó $O_M X_M Y_M Z_M$ koordináta-rendszerben:

$$\begin{cases} x_M = 0 \\ y_M = R \\ z_M = 0 \end{cases} \quad (45)$$

Az M pont helyvektora a mozgó $O_M X_M Y_M Z_M$ koordináta-rendszerben a következő alakú: $\mathbf{r}_M = x_M \mathbf{i} + y_M \mathbf{j} + z_M \mathbf{k}$.

Az M pont helyzete az álló koordináta-rendszerben:

$$\mathbf{r}_0 = \mathbf{M}_{0M} \mathbf{r}_M = \mathbf{M}_{0S} \mathbf{M}_{SM} \mathbf{r}_M \quad (46)$$

A (46) kifejezésben szereplő $\mathbf{M}_{0S}$ és $\mathbf{M}_{SM}$ transzformációs mátrixok tartalmazzák a mozgó és álló koordináta-rendszerek közötti mozgást:

$$\mathbf{M}_{0S} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \varphi & -\sin \varphi & 0 \\ 0 & \sin \varphi & \cos \varphi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (47)$$

$$\mathbf{M}_{SM} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & \frac{p_E}{2\pi} \varphi \\ 0 & 0 & 0 & \frac{h}{2\pi} \varphi \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (48)$$

Ezeket a transzformációs mátrixokat összeszorozva, a következő eredményt kapjuk:

$$\mathbf{M}_{0M} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & \frac{p_E}{2\pi} \varphi \\ 0 & \cos \varphi & -\sin \varphi & \frac{h}{2\pi} \varphi \cos \varphi \\ 0 & \sin \varphi & \cos \varphi & \frac{h}{2\pi} \varphi \sin \varphi \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (49)$$

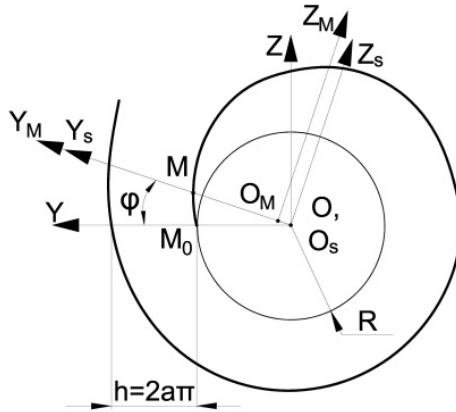
Behelyettesítve a (45) és (49) kifejezéseket a (46) egyenletbe, megkapjuk a kúpos csavarvonal egyenletét mátrixos alakban:

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & \frac{p_E}{2\pi} \varphi \\ 0 & \cos \varphi & -\sin \varphi & \frac{h}{2\pi} \varphi \cos \varphi \\ 0 & \sin \varphi & \cos \varphi & \frac{h}{2\pi} \varphi \sin \varphi \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ R \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} \quad (50),$$

mely parametrikus alakban írva a következőképpen néz ki:

$$\begin{cases} x(\varphi) = \frac{p_E}{2\pi} \varphi \\ y(\varphi) = \left(R + \frac{h\varphi}{2\pi}\right) \cos \varphi \\ z(\varphi) = \left(R + \frac{h\varphi}{2\pi}\right) \sin \varphi \end{cases} \quad (51)$$

Az Arkhimédész-féle spirális képzése úgy valósul meg, hogy a forgástengely körüli elfordulás mellett megjelenik egy radiális irányú elmozdulás is, mely tulajdonképpen egy keresztirányú előtolás (**41. ábra**).



41. ábra

A **41. ábra** három koordináta-rendszer jelenik meg, melyek közül az $OXYZ$ álló, az $O_M X_M Y_M Z_M$ a mozgó és az $O_S X_S Y_S Z_S$ a segéd-koordinátarendszer. Az $OXYZ$ álló és az $O_S X_S Y_S Z_S$ segéd-koordinátarendszerek között csak forgás van,

az elfordulás értéke φ , míg az $O_S X_S Y_S Z_S$ segéd- és az $O_M X_M Y_M Z_M$ mozgó koordináta-rendszerek között csak Y irányú elmozdulás van, melynek nagysága $\frac{h}{2\pi} \varphi$.

Az M pont koordinátái a mozgó koordináta-rendszerben:

$$\begin{cases} x_M = 0 \\ y_M = R \\ z_M = 0 \end{cases} \quad (52)$$

melynek helyvektora: $\mathbf{r}_M = x_M \mathbf{i} + y_M \mathbf{j} + z_M \mathbf{k}$.

Az M pont helyzete az álló koordináta-rendszerben a következő mátrixegyenlettel fejezhető ki:

$$\mathbf{r}_0 = \mathbf{M}_{0M} \mathbf{r}_M = \mathbf{M}_{0S} \mathbf{M}_{SM} \mathbf{r}_M \quad (53)$$

A (53) kifejezésben szereplő $\mathbf{M}_{0S}$ és $\mathbf{M}_{SM}$ transzformációs mátrixok tartalmazzák a mozgó és álló koordináta-rendszerek közötti mozgást meghatározó paramétereket:

$$\mathbf{M}_{SM} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{h}{2\pi} \varphi \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (54)$$

$$\mathbf{M}_{0S} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \varphi & -\sin \varphi & 0 \\ 0 & \sin \varphi & \cos \varphi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (55)$$

Ezeket a transzformációs mátrixokat összeszorozva, a következő eredményt kapjuk:

$$\mathbf{M}_{\text{OM}} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \varphi & -\sin \varphi & \frac{h\varphi}{2\pi} \cos \varphi \\ 0 & \sin \varphi & \cos \varphi & \frac{h\varphi}{2\pi} \sin \varphi \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (56)$$

Behelyettesítve az (52) és (56) kifejezéseket az (53) egyenletbe, megkapjuk a kúpos csavarvonal egyenletét mátrixos alakban:

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \varphi & -\sin \varphi & \frac{h\varphi}{2\pi} \cos \varphi \\ 0 & \sin \varphi & \cos \varphi & \frac{h\varphi}{2\pi} \sin \varphi \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ R \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} \quad (57),$$

mely parametrikus alakban írva a következőképpen néz ki:

$$\begin{cases} x(\varphi) = 0 \\ y(\varphi) = \left(R + \frac{h\varphi}{2\pi}\right) \cos \varphi \\ z(\varphi) = \left(R + \frac{h\varphi}{2\pi}\right) \sin \varphi \end{cases} \quad (58)$$

Nem analitikus vezérgörbe

Akkor alkalmazzák, amikor az egyszerű vagy az összetett vezérgörbe nem hoz eredményt, vagyis amikor a görbét nem lehet felírni matematikai kifejezésekkel. Ezeket a vezérgörbék koordinátákkal táblázatosan, illetve a pontsorra épített közelítőgörbékkel (spline, bézier, nurbs) lehet megadni.

A gyakorlat végrehajtása, az eredmények kiértékelése

A laborgyakorlat során a diákok tanulmányozzák az egyszerű és összetett vezérgörbét, majd számítógépes környezetben ábrázolják azokat, tanulmányozva a paraméterek változtatásának hatásait a görbék alakjára és területére.

10. GYAKORLAT

FELÜLETEK GENERÁLÁSA HARÁNTGYALUN

Jelen dolgozat első részének célja a harántgyalu hajtóműveinek azonosítása, a fő- és mellékmozgások megfigyelése, valamint a lökethossz és löket helyének a beállítása.

A dolgozat második része a harántgyalun generált felületek elméleti és gyakorlati megvalósítására helyezi a fő hangsúlyt. Fontos a kinematikai koordináta-rendszer meghatározása és ennek értelmezése a harántgyalu esetén, a generáló-, valamint a vezérgörbék (egyenesek) azonosítása és ezeknek a létrehozása a szerszámgép által végzett mozgások segítségével.

A dolgozat harmadik része egy felület (lehetőleg nem síkfelület) gyakorlati megmunkálása a harántgyalun. A megmunkált felület generáló- és vezérgörbe egyenleteinek a felírása, valamint a megmunkált felület analitikus egyenletének a levezetése.

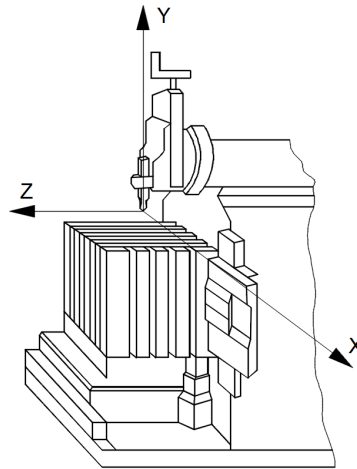
Elméleti alapfogalmak

A kinematikai koordináta-rendszer

Bármilyen felület analitikus egyenletét egy koordináta-rendszerhez képest írjuk fel, amely rendszerint egy derékszögű, jobb sodrású koordináta-rendszer.

A szerszámgépeken generált felületek egyenleteit a szerszámgéphez kötött, jobb sodrású koordináta-rendszerben írjuk fel, amelyet kinematikai koordináta-rendszernek nevezünk. A kinematikai koordináta-rendszer egy szerszámgéphez kötött koordináta-rendszer, amiért szerszámgép-koordinátarendszernek is nevezik. Az $OXYZ$ kinematikai koordináta-rendszer (**42. ábra**) egy olyan

jobb sodrású koordináta-rendszer, amely tengelyeinek iránya egybeesik a harántgyalu vezetékai által biztosított elmozdulásokkal.



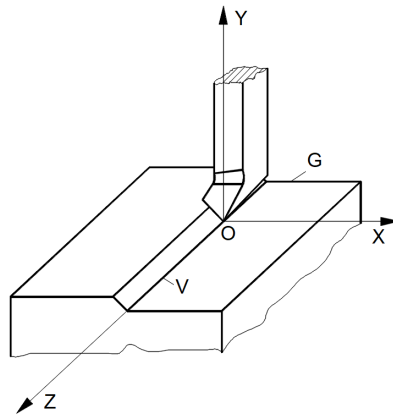
42. ábra

A szerszámgépek kinematikai koordináta-rendszereit az ISO 841:2001 nemzetközi szabvány határozza meg.

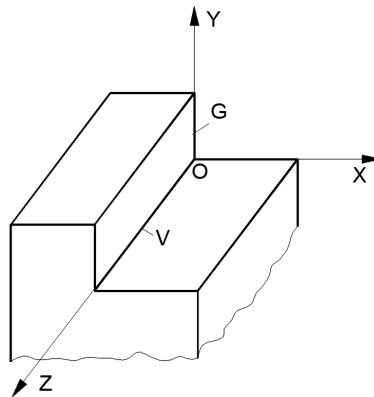
A harántgyaluk esetén **(42. ábra)** az OZ tengely iránya és értelme megegyezik a főmozgás irányával és értelmével, amelyet a kos végez. Az OY tengely iránya egybeesik a késtartó szán függőleges vezetékével, értelme pedig a kés csúcsától a kés szára felé tart. Az OX tengely iránya megegyezik a vízszintes asztal vezetékével, értelmét úgy állapítjuk meg, hogy az $OXYZ$ rendszer jobb sodrású legyen. Az $OXYZ$ koordináta-rendszer origója tetszőlegesen választható.

A vezérgöbe és a generálógörbe meghatározása harántgyaluláskor

A harántgyalugépeken végzett megmunkálások idején a koshoz rögzített kés végzi a főmozgást, amely egyenes irányú, kettős löketszámmal jellemzett mozgás. A gyalulás esetén a vezérgörbe egy olyan egyenes, amelyet a szerszám ír le a főmozgás megvalósítása idején. Tehát a kés által leírt pálya a vezérgörbe **V** (vezéregyenes).



43. ábra

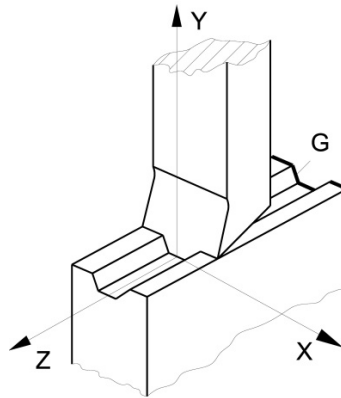


44. ábra

A vezérgörbe mellett a **G** generálógörbe több módon valósítható meg.

A gyalugép asztalával párhuzamos síkfelületek gyalulása idején a generálógörbe (**43. ábra**) egy egyenes vonal, amelyet az OX tengely mentén szakaszos előtolással, tehát mozgás útján hozunk létre. A gyalugép asztalára merőleges síkfelület megmunkálása idején a generálógörbe szintén egyenes, amely párhuzamos az OY tengellyel (**44. ábra**), és a kés által végzett függőleges, előtoló mozgás következtében jön létre.

Nem sík felületek gyalulása idején (**45. ábra**) a megmunkálandó munkadarab profiljának megfelelő gyalukést használnak, tehát itt a generálogörbét a kés éle valósítja meg.

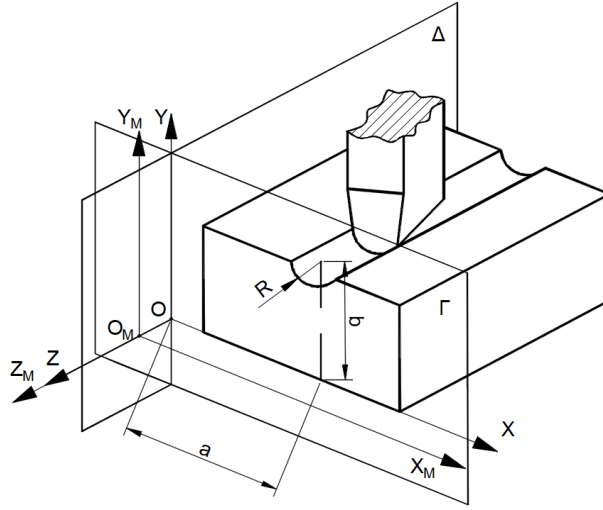


45. ábra

A generált felületek egyenletei

A gyaluló megmunkálás idején keletkezett felület egyenleteit a **46. ábra** látható konkrét helyzetre írjuk fel. Látható, hogy a vezérgörbe a forgácsoló mozgással megegyező irányú egyenes, mely párhuzamos az OZ tengellyel, míg a generálogörbe, mely egy síkgörbe, a generálósíkban helyezkedik el. A **46. ábrán** megjelenő generálogörbe egy egyszerű görbe, mely egy körív, de bármilyen egyszerű vagy akár összetett generálogörbe is alkalmazható.

A felületgenerálás alapszabálya szerint a generált felületet a vezérgörbén elmozduló generálogörbe írja le. A parametrikus formában megadott generálogörbék esetén, a generált felület egyenletének felírása a mátrixmódszerrel a legegyszerűbb. E módszer lényege, hogy a generálogörbét hozzákötjük egy mozgó $O_M X_M Y_M Z_M$ koordináta-rendszerhez, amely translációs mozgást végez az OZ tengellyel párhuzamosan, a λ mozgásparaméter függvényében (**46. ábra**). Kezdetben az $O_M X_M Y_M Z_M$ mozgó koordináta-rendszer egybeesik az álló $OXYZ$ koordináta-rendszerrel.



46. ábra

A generálgörbe parametrikus egyenletei az alábbi formában írhatók le az $O_M X_M Y_M Z_M$ mozgó koordináta-rendszerben:

$$\begin{cases} x_M(\theta) = a + R \cos \theta \\ y_M(\theta) = b + R \sin \theta \\ z_M(\theta) = 0 \end{cases} \quad (59)$$

Az (59) kifejezés a generálgörbe analitikus formában írt parametrikus egyenletei. Ugyanez a görbe mátrixformában is felírható, az alábbi formában:

$$\underline{\mathbf{r}}_M = \begin{pmatrix} a + R \cos \theta \\ b + R \sin \theta \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} \quad (60)$$

Az $O_M X_M Y_M Z_M$ koordináta-rendszer mozgását az álló $OXYZ$ koordináta-rendszerhez képest az alábbi mátrix segítségével fejezzük ki:

$$\mathbf{M}_{\text{OM}} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \lambda \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (61)$$

A mátrix alakban felírt, $\mathbf{r} = \mathbf{M}_{\text{OM}}\mathbf{r}_M$ generált felület egyenlete a következő:

$$\mathbf{r} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \lambda \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a + R \cos \theta \\ b + R \sin \theta \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} \quad (62),$$

amelyből következik a generált felület egyenlete, parametrikus formában:

$$\begin{cases} x(\theta, \lambda) = a + R \cos \theta \\ y(\theta, \lambda) = b + R \sin \theta \\ z(\theta, \lambda) = \lambda \end{cases} \quad (63)$$

A gyakorlat végrehajtása, az eredmények értékelése

A hallgatók elkészítik a gyalugépen megmunkált munkadarabok rajzait, feltüntetve ezeken a megmunkált felületeket, a generáló-, valamint a vezérgörbét.

Felírják a generálógörbék, valamint a generált felületek egyenleteit parametrikus formában.

Ábrázolnak egy gyalulással létrehozott felületet, melynek profilja egy összetett generálógörbe.

11. GYAKORLAT

FORGÁSFELÜLETEK GENERÁLÁSA ESZTERGÁN

A dolgozat első részének célja az esztergák hajtóműveinek azonosítása, a fő- és mellékmozgások megfigyelése, valamint ezeknek létrehozása a kinematikai láncok segítségével.

A dolgozat második része a kinematikai koordináta-rendszer meghatározása és ennek elhelyezése az esztergagépeken, valamint a generáló- és a vezérgörbék létrehozását biztosító hajtóművek azonosítása.

A dolgozat harmadik része egy forgásfelület gyakorlati megmunkálása esztergályozással. Ezt megelőzi a megmunkált felület generáló- és vezérgörbe-egyenleteinek a felírása, valamint a megmunkált felület analitikus egyenletének a levezetése.

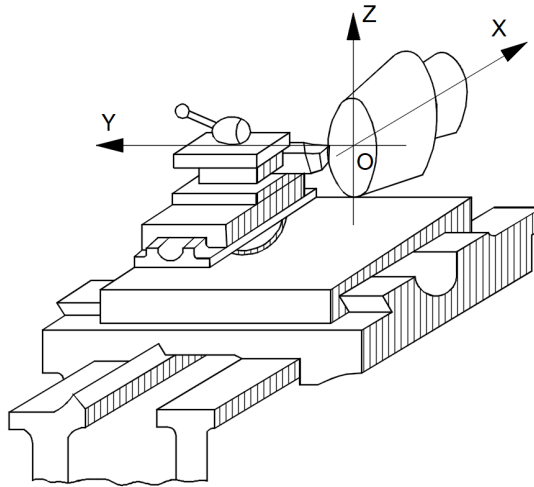
Elméleti alapfogalmak

Az esztergagép hajtóművei, mozgásai

Az esztergagépeken a főmozgást a főtengelyre erősített szorítótokmányba befogott munkadarab végzi. Tehát esztergálás esetén a főmozgás a munkadarab által végzett forgómozgás, amelyet a főhajtómű biztosít. A mellékmozgásokat a késtartóba befogott esztergakés végzi, amely lehet hosszirányú, keresztirányú mozgás, illetve ezek lineáris kombinációi (kúpfelületek esztergálása) vagy nem-lineáris kombinációi (nem egyenes generátorú forgástestek esztergálása).

A kinematikai koordináta-rendszer

Az esztergagépeken megmunkált felületek analitikus egyenleteit is egy jobb sodrású, derékszögű koordináta-rendszerben írjuk fel, amely a szerszámgép-hez kötött koordináta-rendszer.



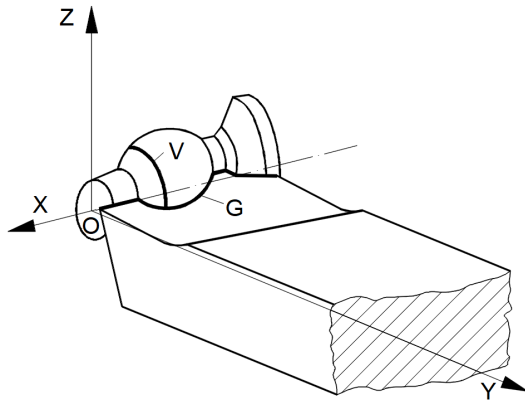
47. ábra

A kinematikai koordináta-rendszer a szerszámgéphez kötött koordináta-rendszer, amiért szerszámgép-koordináta-rendszernek is nevezik. Az $OXYZ$ kinematikai koordináta-rendszer (**47. ábra**) egy olyan, jobb sodrású koordináta-rendszer, amelynek az OX tengelye egybeesik a forgástest geometriai tengelyével, az OZ tengely megegyezik a főmozgás érintőjének irányával és értelmével, az OY tengely iránya pedig egybeesik a keresztcsán elmozdulási irányával, értelme azonos a radiális forgácsolóerő értelmével. Az OX tengely értelmét úgy vesszük fel, hogy az $OXYZ$ koordináta-rendszer jobb sodrású legyen.

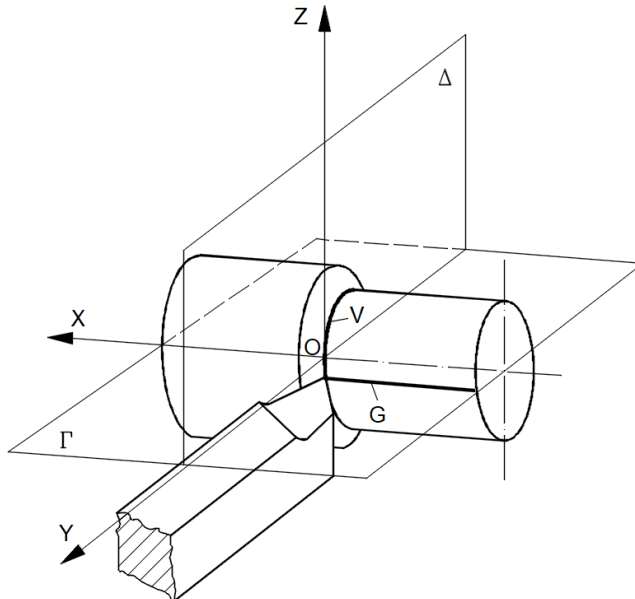
A vezérgöbe és a generálógörbe meghatározása esztergálás esetén

Esztergáláskor a vezérgörbét a forgómozgást végző főtengely hozza létre, amelyből következik, hogy esztergálás esetén a vezérgörbe egy kör.

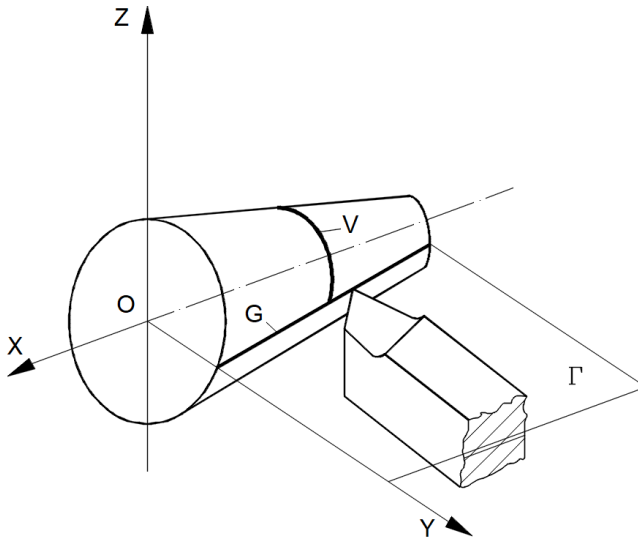
A generálógörbe több módon valósítható meg. A nem nagyon hosszú, komplex generátorú forgástesteket profilkésekkel munkálják meg (**48. ábra**). Ebben az esetben a generálógörbét az esztergakés forgácsolóéle biztosítja.

**48. ábra**

A hengeres (külső vagy belső) forgásfelületek esztergálásakor a generáló-görbe a munkadarab tengelyével párhuzamos egyenes, amelyet a hosszirányú előtolás idején a szerszám csúcsa ír le (**49. ábra**).

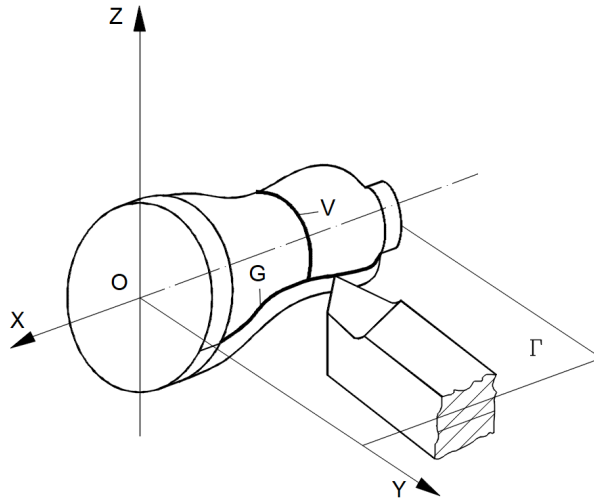
**49. ábra**

A kúpfelületek megmunkálásakor (**50. ábra**) a generálógörbe egy olyan egyenes, amely a forgástengellyel a félkúpszöget zárja be, és szintén a generálósíkban van.



50. ábra

A komplex generátorú (nagyobb hosszúságú) forgásfelületek esztergálásakor (**51. ábra**) a generálógörbe a hossz- és keresztirányú előtolás összetevőjeként jön létre. A hosszirányú előtolás rendszerint egyenletes sebességű előtoló mozgás, míg a keresztirányú előtolás változó sebességű, amelyet másolási előtolásnak is nevezünk. A keresztirányú mozgást az esztergapad ágyára erősített másolóídom biztosítja, amelynek formája megegyezik a megmunkálandó forgásfelület generátorával. A megmunkálás idején a generálógörbét a forgácsolószerszám csúcsa írja le, a másolóídom profilját követve. A fent leírtak alapján kijelenthető, hogy a generálógörbe kinematikus úton létrehozott görbe.



51. ábra

A generált felületek egyenletei

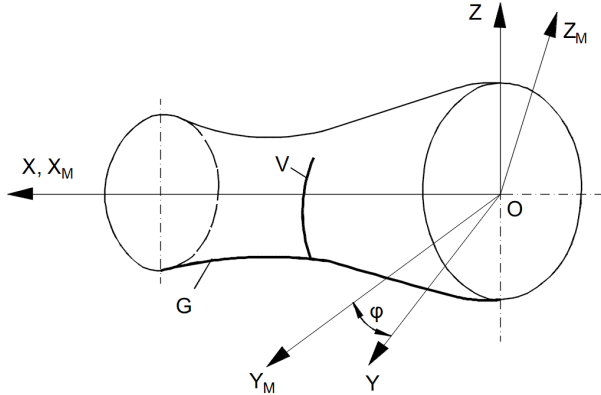
Első lépésként a generálógörbe egyenletét kell felírni. Ezt parametrikus formában adjuk meg. A generálógörbe egyenleteinek a felírásakor figyelembe kell venni, hogy a generálógörbe az XOY generálósíkban van. Tehát a generálógörbe egy síkgörbe.

A generálás alap gondolata szerint a forgástest akkor jön létre, ha a generálógörbe elfordul az OX tengely körül. Ezt matematikai módszerrel úgy írják le, hogy a generálógörbét rögzítik egy olyan mozgó $OX_M Y_M Z_M$ koordináta-rendszerhez, amely forgómozgást végez az OX tengely körül. Az $OX_M Y_M Z_M$ mozgó koordináta-rendszerben felírt generálógörbe parametrikus egyenletei:

$$\begin{cases} x_M(u) = x(u) \\ y_M(u) = y(u) \\ z_M(u) = 0 \end{cases} \quad (64)$$

A (64) egyenlet a generálógörbe analitikus formája. Ugyanez a görbe mátrixalakban is írható:

$$\mathbf{\Gamma}_M = \begin{pmatrix} x(u) \\ y(u) \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} \quad (65)$$



52. ábra

Az $OX_M Y_M Z_M$ mozgó koordináta-rendszer elfordulását az $OXYZ$ álló (fix) rendszerhez képest a φ elfordulási paraméter jelzi (**52. ábra**).

Kezdeti helyzetben az $OX_M Y_M Z_M$ mozgó rendszer egybeesik az álló $OXYZ$ koordináta-rendszerrel. A mozgó koordináta-rendszerben megadott görbét az alábbi $\mathbf{M}_{OM}$ mátrix segítségével írjuk át az álló koordináta-rendszerbe:

$$\mathbf{M}_{OM} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \varphi & -\sin \varphi & 0 \\ 0 & \sin \varphi & \cos \varphi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (66)$$

A megmunkált forgásfelület egyenletét az $\mathbf{M}_{OM}$ mátrix és a generálógörbe oszlop mátrixának szorzata adja, amelyből következik:

$$\begin{cases} x(u, \varphi) = x(u) \\ y(u, \varphi) = y(u) \cos \varphi \\ z(u, \varphi) = y(u) \sin \varphi \end{cases} \quad (67)$$

A gyakorlat végrehajtása, az eredmények értékelése

A hallgatók elkészítik az esztergán megmunkált munkadarabok rajzait, feltüntetve ezeken a megmunkált felületeket, a generáló-, valamint a vezérgörbét.

Felírják a generológörbe, valamint a generált felület egyenleteit parametrikus formában, majd a kapott egyenleteket ábrázolják. A generológörbe egy összetett görbe kell, hogy legyen.

12. GYAKORLAT

A CSAVARMENETEK GENERÁLÁSA ESZTERGÁN

Jelen dolgozat célja a különböző csavarmenetek formáinak, sajátosságainak megismerése, az ezzel kapcsolatos ismeretek rögzítése, a generológörbék, valamint a vezérgörbék meghatározása a különböző csavarmenetek (csavarfelületek) esztergálása esetében.

A gyakorlat ideje alatt megmunkált csavarmenetek rajzainak az elkészítése, valamint a csavarfelületek analitikus egyenleteinek a felírása.

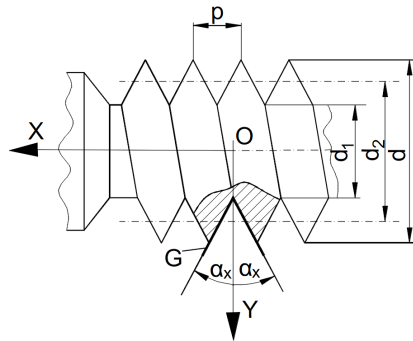
Elméleti alapfogalmak

Csavarfelületek létrehozásához szükséges mozgások

A csavarfelületek esztergálása idején a munkadarab forgómozgást végez, a késtartóba befogott esztergakés pedig végzi a mellékmozgást/mellékmozgásokat. A mellékmozgás lehet hosszirányú előtoló mozgás (hengeres csavarfelületek esztergálásakor), illetve a hosszirányú és keresztirányú előtoló mozgások lineáris kombinációi (kúpmenetek esztergálása esetén).

A kinematikai koordináta-rendszer

Mivel a menetek megmunkálása esztergagépen történik, a kinematikai koordináta-rendszert ugyanúgy választjuk, mint a forgásfelületek esztergálása esetén.



53. ábra

Az $OXYZ$ kinematikai koordináta-rendszer (53. ábra) egy olyan, jobb sodrású koordináta-rendszer, amelynek az OX tengelye egybeesik a forgástest geometriai tengelyével, az OZ tengely megegyezik a főmozgás érintő irányával és értelmével, az OY tengely iránya pedig egybeesik a keresztzán elmozdulási irányával, értelme azonos a radiális forgácsolóerő értelmével. Az OX tengely értelmét úgy vesszük fel, hogy az $OXYZ$ koordináta-rendszer jobb sodrású legyen.

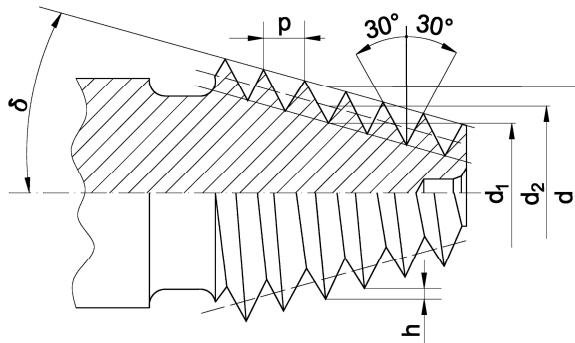
A vezérgöbe és a generológörbe meghatározása menetvágás esetén

Menetesztorgálásnál a generológörbét a menetvágó kés éle hozza létre. Ha a szerszám homlokfelülete a generálósíkban van (amely a megmunkálandó csavarfelület axiális síkja), a generológörbe (a menetvágó kés éle) megegyezik a menet axiális profiljával. Bármilyen csavarfelület esztergálásáról legyen szó (métermenet, trapézmenet, laposmenet, fűrészmenet, körívmenet stb.), a generológörbe mindig megegyezik az axiális menetprofillal.

A vezérgörbe több módon valósítható meg, a megmunkálandó csavarfelület típusának függvényében.

A hengeres (külső vagy belső) menetek esztergálásakor a munkadarab végzi a forgómozgást, a menetkés pedig a hosszirányú, egyenletes, előtoló mozgást úgy, hogy a darab egy fordulata alatt a menetvágó kés a menet emelkedésével egyenlő utat tesz meg (53. ábra). A forgó és hosszirányú előtolás összetevőjeként a szerszám élének egy pontja (az álló koordináta-rendszerben) állandó

emelkedésű csavarvonalat ír le, amely a hengeres csavarfelületek vezérgörbéje. A fentiekből következik, hogy a hengeres menetek esztergálása esetén a vezérgörbe egy állandó emelkedésű csavarvonal, a generálogörbe pedig megegyezik a megmunkálandó menet axiális profiljával.



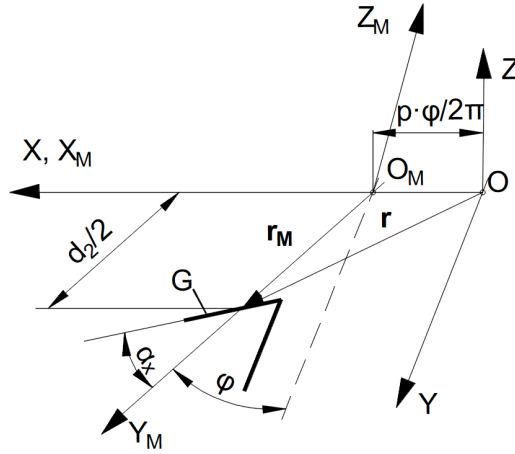
54. ábra

A kúpmenetek esztergálásakor (**54. ábra**) a munkadarab forgómozgást, a szerszám pedig a hosszirányú előtoló mozgás mellett egy keresztirányú előtoló mozgást is végez. A kereszt- és a hosszirányú előtolások arányát a létrehozandó kúpmenet félkúpszöge határozza meg. A kúpmenetek esztergálásakor a menetvágó kés egy időben mozdul el, mind keresztirányban, mind hosszirányban, állandó sebességekkel.

A fentiekből következik, hogy a kúpos menetek esztergálása esetén a vezérgörbe egy állandó menetemelkedésű kúpos csavarvonal, a generálogörbe pedig megegyezik a megmunkálandó menet axiális profiljával.

A generált felület egyenletei

A csavarfelületek egyenleteinek a felírásakor a generálogörbe az $O_M X_M Y_M Z_M$ mozgó koordináta-rendszerhez van kötve, amely az **55. ábra** szerint mozdul el hengeres csavarfelületek megmunkálásakor, valamint az **56. ábra** vázolt módon a kúpmenetek esztergálása esetén.



55. ábra

A generálógörbe egyenleteinek a felírásakor figyelembe kell venni, hogy a generálógörbe a mozgó koordináta-rendszer $X_M O_M Y_M$ síkjához van csatolva. Tehát a generálógörbe egy síkgörbe, amely felírható analitikus formában, vektoriális formában vagy mátrixformában.

A generálógörbe parametrikus egyenletei, analitikus formában, általános esetben, az alábbi módon írhatók le:

$$\begin{cases} x_M(\lambda) = x(\lambda) \\ y_M(\lambda) = y(\lambda) \\ z_M(\lambda) = 0 \end{cases} \quad (68)$$

Ugyanez a görbe vektoriális alakban:

$$\mathbf{r}_M = x(\lambda)\mathbf{i} + y(\lambda)\mathbf{j} \quad (69)$$

vagy mátrixalakban felírva:

$$\underline{\mathbf{r}}_M = \begin{pmatrix} x(\lambda) \\ y(\lambda) \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} \quad (70)$$

A hengeres csavarfelületek generálása alatt a generálógörbe egy pontja egy állandó menetemelkedésű csavarvonalon mozdul el. Ezt matematikailag úgy fogalmazzuk meg, hogy az $O_M X_M Y_M Z_M$ mozgó koordináta-rendszer állandó szögsebességű forgómozgást és állandó sebességű elmozdulást végez az OX tengely mentén, amelyet a φ paraméter segítségével fejezünk ki (**55. ábra**). E viszonylagos mozgás következtében a generálógörbe a hengeres csavarfelületet írja le, amelynek helyvektorát a következő egyenlet adja:

$$\underline{\mathbf{r}} = \mathbf{M}_{OM} \underline{\mathbf{r}}_M \quad (71),$$

ahol $\mathbf{M}_{OM}$ az $O_M X_M Y_M Z_M$ mozgó koordináta-rendszer és az $OXYZ$ álló koordináta-rendszer közti transzformációs mátrix:

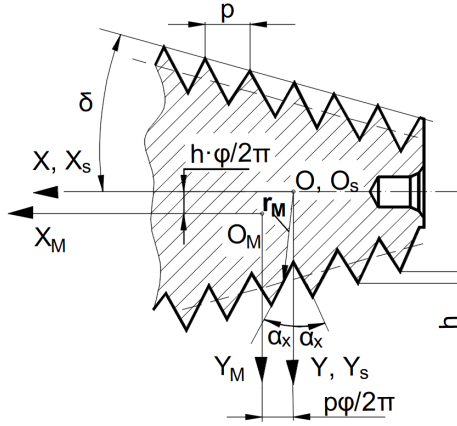
$$\mathbf{M}_{OM} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & \frac{p}{2\pi}\varphi \\ 0 & \cos \varphi & -\sin \varphi & 0 \\ 0 & \sin \varphi & \cos \varphi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (72)$$

Mátrixformában írva a (71) egyenletet, az alábbi kifejezést kapjuk:

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & \frac{p}{2\pi}\varphi \\ 0 & \cos \varphi & -\sin \varphi & 0 \\ 0 & \sin \varphi & \cos \varphi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x(\lambda) \\ y(\lambda) \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} \quad (73)$$

Analitikus formába átírva a (73) egyenletet, megkapjuk a hengeres csavarfelület parametrikus egyenleteit, az alábbi formában:

$$\begin{cases} x(\lambda, \varphi) = x(\lambda) + \frac{p}{2\pi}\varphi \\ y(\lambda, \varphi) = y(\lambda) \cos \varphi \\ z(\lambda, \varphi) = y(\lambda) \sin \varphi \end{cases} \quad (74)$$



56. ábra

A kúpmenetek csavarfelületeinek egyenleteit kissé körülményesebb felírni. Első lépésként itt is felírjuk a generálógörbe egyenletét, a (70) szerint.

A kúpmenetek esetén a vezérgörbe egy kúpos csavarvonal. Ha a munkadarab fordulatszám, valamint az axiális és radiális előtolások értékei állandók, a vezérgörbe egy állandó menetemelkedésű, kúpos csavarvonal, amelynek tengelyirányú emelkedése p , sugárirányú emelkedése pedig h (56. ábra).

Az $O_M X_M Y_M Z_M$ mozgó koordináta-rendszerhez kapcsolt generálógörbe egyenletét két lépésben írjuk át az $OXYZ$ álló koordináta-rendszerbe. Ennek érdekében bevezetjük az $O X_S Y_S Z_S$ segéd-koordinátarendszert (56. ábra), amelyhez képest az $O_M X_M Y_M Z_M$ koordináta-rendszer az OX tengely mentén $\frac{p}{2\pi} \varphi$, illetve az OY tengely mentén pedig $\frac{h}{2\pi} \varphi$ értékkel csúszik el

Az $O_M X_M Y_M Z_M$ koordináta-rendszer elmozdulását az $O X_S Y_S Z_S$ segéd-koordinátarendszerhez képest az alábbi mátrix segítségével fejezzük ki:

$$\mathbf{M}_{SM} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & \frac{p}{2\pi} \varphi \\ 0 & 1 & 0 & \frac{h}{2\pi} \varphi \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (75)$$

A második lépésben átírjuk a generálógörbe egyenletét az $OX_S Y_S Z_S$ segéd-koordinátarendszerből az $WXYZ$ álló koordináta-rendszerbe, figyelve arra, hogy a segéd-koordinátarendszer csak elfordul az álló koordináta-rendszer OX tengelye körül. Ezt a mozgást az alábbi mátrix segítségével írjuk le:

$$\mathbf{M}_{OS} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \varphi & -\sin \varphi & 0 \\ 0 & \sin \varphi & \cos \varphi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (76)$$

A generált kúpcsavarfelület helyvektorát az alábbi egyenlet adja:

$$\underline{\mathbf{r}} = \mathbf{M}_{OS} \mathbf{M}_{SM} \underline{\mathbf{r}}_M = \mathbf{M}_{OM} \underline{\mathbf{r}}_M \quad (77)$$

Elvégezve az $\mathbf{M}_{OS}$ és $\mathbf{M}_{SM}$ mátrixok szorzatát, megkapjuk az $\mathbf{M}_{OM}$ mátrixot, az alábbi formában:

$$\mathbf{M}_{OM} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & \frac{p}{2\pi} \varphi \\ 0 & \cos \varphi & -\sin \varphi & \frac{h}{2\pi} \varphi \cos \varphi \\ 0 & \sin \varphi & \cos \varphi & \frac{h}{2\pi} \varphi \sin \varphi \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (78)$$

Behelyettesítve a megfelelő mátrixokat a (77) egyenletbe, szintén mátrixalakban kapjuk a kúpcsavarfelületet, a következő formában:

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & \frac{p}{2\pi} \varphi \\ 0 & \cos \varphi & -\sin \varphi & \frac{h}{2\pi} \varphi \cos \varphi \\ 0 & \sin \varphi & \cos \varphi & \frac{h}{2\pi} \varphi \sin \varphi \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x(\lambda) \\ y(\lambda) \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} \quad (79)$$

Analitikus formában, a következőképpen írhatjuk a kúpcsavarfelület egyenleteit:

$$\begin{cases} x(\lambda, \varphi) = x(\lambda) + \frac{p}{2\pi} \varphi \\ y(\lambda, \varphi) = \left[y(\lambda) + \frac{h}{2\pi} \varphi \right] \cos \varphi \\ z(\lambda, \varphi) = \left[y(\lambda) + \frac{h}{2\pi} \varphi \right] \sin \varphi \end{cases} \quad (80)$$

A gyakorlat végrehajtása, az eredmények értékelése

A dolgozat gyakorlati végrehajtása idején különböző hengeres és kúpos meneteket munkálunk meg esztergapadon. A csavarfelületek megmunkálása előtt azonosítani kell a generáló-, illetve vezérgörbékét a hengeres és kúpos menetek esetén, valamint ezek gyakorlati megvalósítását és beállítását a szerszámgépen.

A kiválasztott legyártandó menetnek megfelelően, elő kell készíteni az anyagot, vagyis a munkadarabot a menet méretének megfelelő átmérőre kell esztergálni (vigyázva arra, hogy a belső meneteknél a furatátmérő egyenlő a menet belső átmérőjével). Az anyag előkészítése után be kell állítani a menetemelkedést az eszterga előtoló szekrénye segítségével.

A hallgatók elkészítik az esztergán megmunkálandó munkadarabok rajzait, feltüntetve ezeken a csavarfelületeket, a generáló-, valamint a vezérgörbékét.

Felírják a generálógörbék egyenleteit, a menetvágáshoz szükséges mozgásoknak megfelelő mátrixokat, valamint a generált felületek egyenleteit, majd ábrázolják ezeket a felületeket.

13. GYAKORLAT

MODULMENETEK GENERÁLÁSA ESZTERGÁN

A dolgozat első része bemutatja a csigahajtásokban használt azon csigákat, amelyeket esztergagépeken munkálnak meg. A dolgozat fő célja a különböző csigák formáinak és sajátosságainak megismerése, az ezzel kapcsolatos ismeretek rögzítése, továbbá a generálógörbék, valamint a vezérgörbék meghatározása a különböző csigák (csavarfelületek) esztergálása esetén.

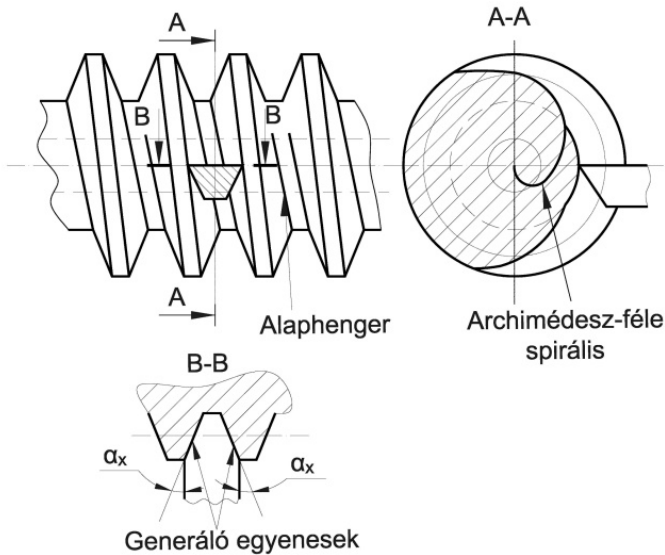
A gyakorlat ideje alatt, különböző csigák megmunkálása segítségével, a hallgatók minél pontosabban próbálják rögzíteni a különböző profilú csigák megmunkálásához szükséges szerszámbeállításokat.

A gyakorlat utolsó részében a hallgatók elkészítik a megmunkált csigák rajzait, amelyeknek alapján felírják a generálógörbék analitikus egyenleteit, majd a felírt egyenletek segítségével kigenerálják a csigák oldalfelületeit.

Elméleti alapfogalmak

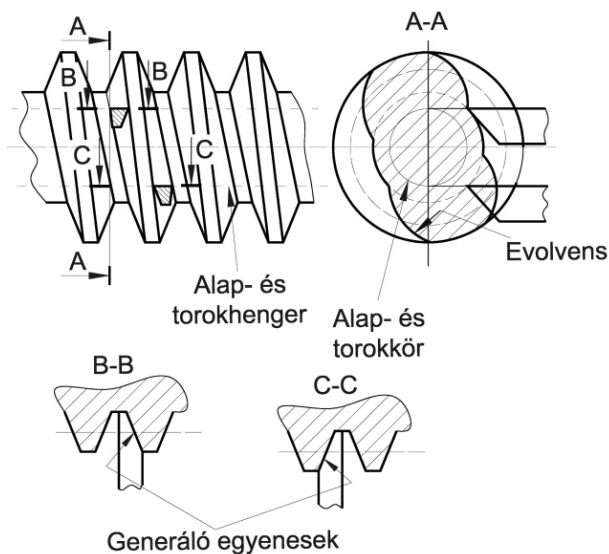
A szabványosított csigák ismertetése

Az esztergagépeken megmunkált, szabványosított csigák jellegzetessége, hogy a szerszám vágóéle mindig egyenes (a pontosabb vágóél kialakítása miatt). Ebből következik, hogy a csiga aktív felületén (ott, ahol a kés vágóéle generálja a csigafelületét) egyenes vonal van. A fentiekből következik, hogy az esztergagépeken megmunkált csavarfelületek vonalfelületek (egyenes által leírt felületek).

**57. ábra**

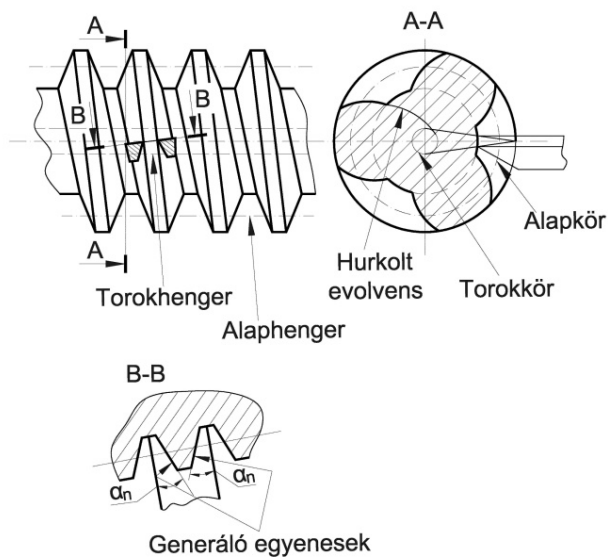
A vonalfelületű hengeres csigákat a homlokfelület (a tengelyre merőleges síkmetszet) profilja szerint osztályozzák. A STAS 6845-82 román szabvány szerint a következő vonalfelületű csigák vannak szabványosítva:

- ZA-típusú csiga (Arkhimédész-féle csiga), amelynek homlokprofilja Arkhimédész-féle spirális ív, axiális metszete pedig egyenlő oldalú trapézprofil (**57. ábra**);
- ZE-típusú csiga (evolvens csiga), amelynek homlokprofilja evolvensív, az egyenlő oldalú trapézprofil pedig egy olyan síkban van, amely párhuzamos az axiális síkkal, és ettől az alapkör sugarával egyenlő távolságra van (**58. ábra**);



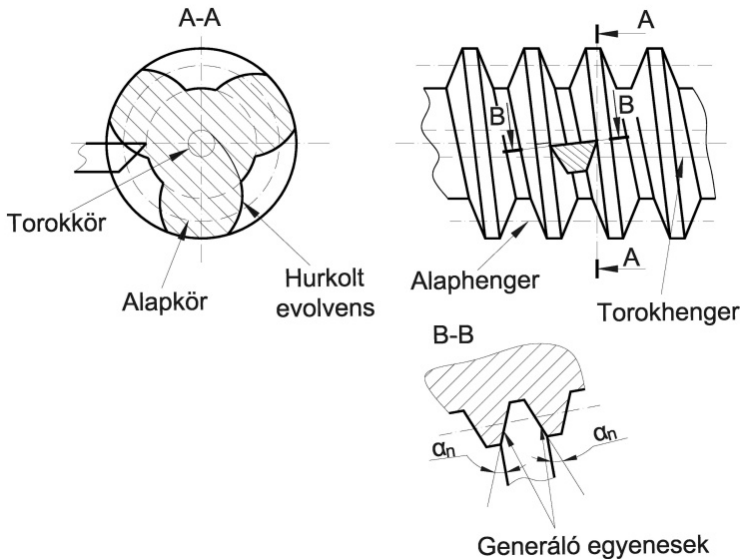
58. ábra

- ZN1-típusú csiga, amelynek homlokprofilja hurkolt evolvensív, és a csiga fogára merőleges síkban van az egyenlő oldalú trapézprofil (59. ábra);



59. ábra

- ZN2-típusú csiga, amelynek homlokprofilja szintén hurkolt evolvensív, de a csiga foghézagára merőleges síkban van az egyenlő oldalú trapézprofil (**60. ábra**).



60. ábra

A ZN1 és ZN2 csigákat konvolut csigáknak is nevezik.

A végtelen csiga megmunkálásához szükséges mozgások

A csigák esztergálása idején, amelyeket végtelen csavarfelületeknek is neveznek, a munkadarab végzi a forgómozgást (a főmozgást), a késtartóba befogott esztergakés pedig a mellékmozgást, azaz a hosszirányú előtoló mozgást.

A kinematikai koordináta-rendszer

Mivel a csigák megmunkálása esztertagépen történik, a kinematikai koordináta-rendszert ugyanúgy választják meg, mint a forgásfelületek vagy a csavarfelületek esztergálása idején.

Az $OXYZ$ kinematikai koordináta-rendszer (**47. ábra**) egy olyan, jobb sodrású koordináta-rendszer, amelynek az OX tengelye egybeesik a forgástest geometriai tengelyével, az OZ tengely megegyezik a főmozgás irányával és

értelmével, az OY tengely iránya pedig egybeesik a keresztzán elmozdulási irányával, értelme azonos a radiális forgácsolóerő értelmével. Az OX tengely értelmét úgy vesszük fel, hogy az $OXYZ$ koordináta-rendszer jobb sodrású legyen.

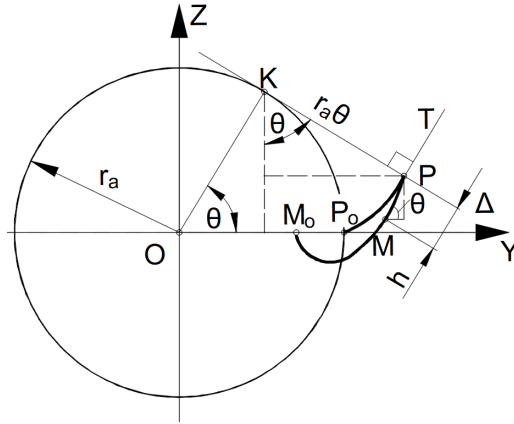
A vezérgöbe és a generálogörbe meghatározása

A csigafelületek megmunkálása idején a generálogörbét a menetvágó kés éle hozza létre, amely egy trapézprofilú, egyenes vágóélű, menetvágó kés.

A hengeres csigák esztergálásakor a munkadarab végzi a forgómozgást, a menetkés pedig a hosszirányú egyenletes előtoló mozgást úgy, hogy a darab egy fordulata alatt a menetvágó kés a menet emelkedésével egyenlő utat teszi meg. A forgó és hosszirányú előtolás összetevőjeként a szerszám élének egy pontja (az álló koordináta-rendszerben) állandó emelkedésű csavarvonalat ír le, amely a hengeres csigák vezérgörbéje. A fentiekből következik, hogy a hengeres csigák esztergálása esetén a vezérgörbe egy állandó emelkedésű csavarvonal, a generálogörbe pedig egyenes szakasz. Észre kell venni, hogy az Arkhimédész-féle, a ZN1 és a ZN2 csigák esetében a két csavarfelületet generáló egyenes szakaszok ugyanabban a síkban illeszkednek, és egyenlő oldalú trapézt képeznek. Az evolvens csiga esetében ezek két, az alaphengert érintő, párhuzamos síkban illeszkednek, de a tengelyre merőleges síkkal kongruens szögeket zárnak be.

Az evolvensív elméleti generálása

Az alábbiakban bemutatjuk az evolvens, a hurkolt evolvens, valamint az Arkhimédész-féle spirális elméleti generálását. Az evolvensívet az alapkört érintő egyenes (Δ egyenes) tetszőleges pontja (P pontja) írja le, miközben az egyenes csúszásmentesen legördül az alapkörön (**61. ábra**).



61. ábra

A P pont által leírt evolvensgörbe parametrikus egyenletei:

$$\begin{cases} y(\theta) = r_a \cos \theta + r_a \theta \sin \theta \\ z(\theta) = r_a \sin \theta - r_a \theta \cos \theta \end{cases} \quad (81)$$

A Δ egyeneshez rögzített M pont, amely h távolságra van a Δ egyenes alatt, egy hurkolt evolvensívet ír le, amikor a Δ egyenes csúszásmentesen gördül le az alapkörön. E görbe parametrikus egyenletei:

$$\begin{cases} y(\theta) = r_a \cos \theta + r_a \theta \sin \theta - h \cos \theta \\ z(\theta) = r_a \sin \theta - r_a \theta \cos \theta - h \sin \theta \end{cases} \quad (82)$$

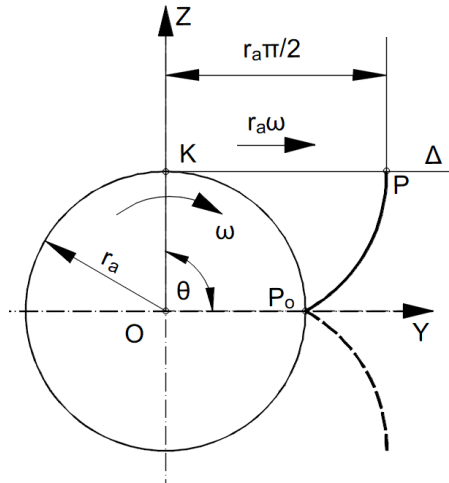
Egyszerűbb formában a következőképpen írhatók fel:

$$\begin{cases} y(\theta) = (r_a - h) \cos \theta + r_a \theta \sin \theta \\ z(\theta) = (r_a - h) \sin \theta - r_a \theta \cos \theta \end{cases} \quad (83)$$

Ha a h értékét egyenlővé tesszük az alapkör sugarával, az M pont egy Archimédész-féle spirális írt le, amelynek egyenletét úgy kapjuk meg, ha a (83) egyenletbe behelyettesítjük a $h = r_a$ értéket. A behelyettesítés és a számítások elvégzése után kapjuk:

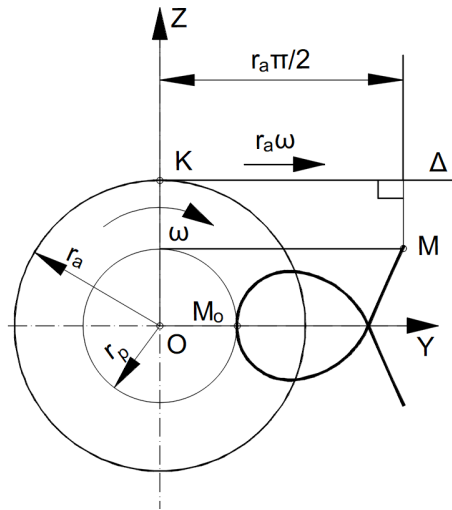
$$\begin{cases} y(\theta) = r_a \theta \sin \theta \\ z(\theta) = r_a \theta \cos \theta \end{cases} \quad (84)$$

Az előbbieken az evolvens, hurkolt evolvens és az Arkhimédész-féle spirális elméleti generálását mutattuk be. Ugyanezeket a görbéket lehet generálni úgy is, hogy az alapkör ω szögsebességgel forog a saját tengelye körül, a generálopont pedig az alapköri pont ωr_a értékű kerületi sebességével halad az álló Δ egyenesen (**62. ábra**). Az elméleti módszer gyakorlati megvalósítása úgy jön létre, hogy a munkadarabot tokmányba rögzítjük, amely forog a saját tengelye körül, és a forgácsolószerszám, amely az egyenes vágóélet testesíti meg, végzi a hosszirányú előtolást. A fenti észrevétel alapján az evolvensgörbe létrehozása a szorítótokmányába fogott tárcsa oldalfelületén látható, mely akkor jön létre, ha a tárcsa ω szögsebességgel forog a saját tengelye körül, a generáló P pont pedig (amely r_a távolsággal van a csiga forgástengelye fölött) az alapkör kerületi sebességével ($v = r_a \omega$) halad az álló Δ egyenesen. A **62. ábrán** a szerszám hegye által generált $\widehat{P_0P}$ evolvensív látható, amely a tárcsa 90° -os elfordulása idején jön létre.



62. ábra

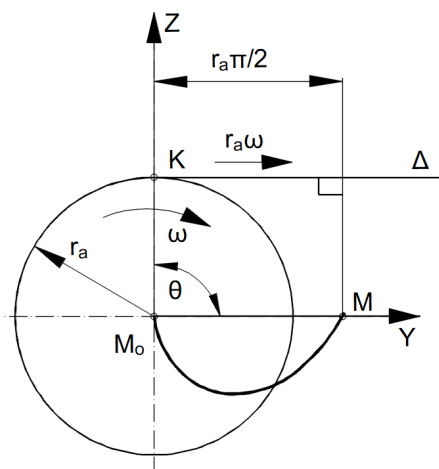
Ha a forgácsolókés hegyét a Δ egyenes alá helyezzük egy h távolságra (az M pontba), akkor az M pont egy hurkolt evolvenst ír le (**63. ábra**), ha a tárcsa és a forgácsolókés mozgásai megegyeznek az evolvens generálásának megfelelő mozgásaival.



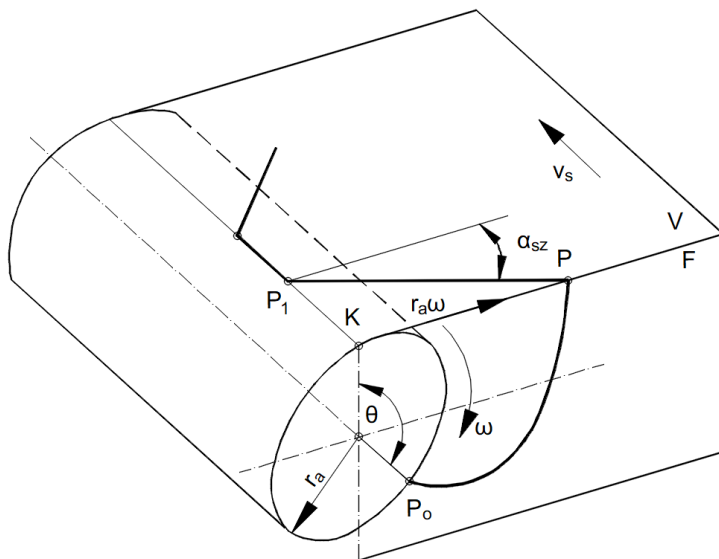
63. ábra

Ha a tárcsa és a szerszám mozgásai ugyanazok, mint az előző esetben (a tárcsa ω szögsebességgel forog, a szerszám pedig $v = r_a \omega$ sebességgel halad a Δ egyenes mentén), de a forgácsolókés hegye a megmunkálandó csiga tengelymagasságába van helyezve, a szerszám hegye Arkhimédész-féle spirális ívet munkál rá a tárcsára (**64. ábra**).

A vonalfelületű csigákat trapézprofilú, egyenes vágóélű esztergakésekkel munkálják meg. A szerszám magasságát, a csiga forgástengelyéhez képest, a megmunkálandó csiga profiljának függvényében állítják be.



64. ábra



65. ábra

A **65. ábrán** az evolvens csiga megmunkálásának elvi rajza látható (bal emelkedésű csavarfelület esetén). A szerszám $\overline{P_1P}$ egyenes vágóéle a csiga

tengelyével párhuzamos síkban fekszik, amely az alaphenger érintősíkjá. A $\overline{P_1P}$ vágóél, a megmunkálás idején, olyan v_s axiális irányú sebességgel halad a $[V]$ vízszintes síkban, hogy a munkadarab egy fordulata alatt a csiga tengelyirányú emelkedésével egyenlő utat tegyen meg.

A $\overline{P_1P}$ generálóél állandó sebességű, a csiga tengelyével párhuzamos mozgása idején, ennek a vágóélnak különböző pontjai, a csiga tengelyére merőleges síkban, a $\overline{KP}$ egyenesen mozdulnak el. Kezdeti helyzetben a P_1 pont a K pontban van. A $\overline{P_1P}$ vágóél egyenletes axiális mozgása következtében ennek egymást követő pontjai a $\overline{KP}$ egyenesen haladnak állandó sebességgel. Ha a vágóél pontjainak sebessége a $\overline{KP}$ egyenesen megegyezik az alapkör kerületi sebességével, ezen pontok mértani helye az $[F]$ függőleges síkban (amely együtt forog a csigával) egy evolvensív. Mivel a függőleges sík a csiga homloksíkjá, és ebben a csigaprofil evolvens, a fent leírt módon megmunkált csiga evolvens csiga.

Ha a $[V]$ vízszintes sík, amelyben a $\overline{P_1P}$ vágóél van, egybeesik a csiga axiális metszetével, vagyis a vágóél a csiga axiális síkjában van, és a munkadarab meg a szerszám ugyanazokat a mozgásokat végzi, mint az előző esetben, akkor Arkhimédész-féle csigát munkálunk meg.

Ha a $\overline{P_1P}$ vágóél egy olyan, a csiga tengelyével párhuzamos síkban van, amely a csiga tengelye fölött helyezkedik el, de kisebb magasságban, mint az alapkör sugara, a munkadarab és a szerszám pedig ugyanazokat a mozgásokat végzi, mint az előző esetekben, konvolut csigát munkálunk meg.

A ZN1 és ZN2 csigák szintén konvolut csigák, mert a döntött menetvágó kés élei nincsenek axiális metszetben.

A fentiekből következik, hogy kizárólag a vágóél munkadarabhoz viszonyított helyzetétől függ a megmunkált csiga homlokprofilja.

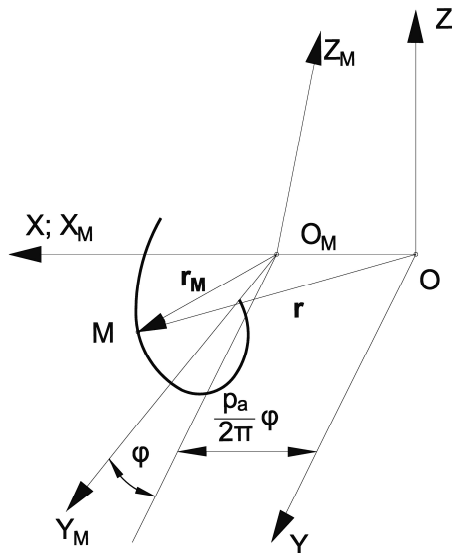
A generált felületek egyenletei

A generált felület egyenletét két módon írhatjuk fel:

- felírjuk az él egyenletét, rögzítve a mozgó koordináta-rendszerhez, továbbá követve a menetvágás esetén használt módszert;
- a csiga aktív felületeinek egyenleteit a homlokprofil egyenletei segítségével írjuk fel. A csigák homlokszelvénygörbéire a csiga

tengelyére értelmezett, a csiga emelkedésének megfelelő és a csiga irányával megegyező csavarmozgást alkalmazunk.

Mivel az első módszert leírtuk a menetvágás esetén, most a csiga csavarfelületeinek egyenleteit a második módszer segítségével írjuk fel. Ebben az esetben a csiga homlokprofilját a mozgó $O_M X_M Y_M Z_M$ koordináta-rendszerhez rögzítjük, amely az álló $OXYZ$ rendszerhez képest elfordul és elmozdul az OX tengely mentén (**66. ábra**) úgy, hogy a homlokprofil valamely pontja állandó emelkedésű csavarvonalat követ.



66. ábra

A homlokprofil helyvektora, az $O_M X_M Y_M Z_M$ koordináta-rendszerben, vektoriális alakban, a következőképpen írható le (**66. ábra**):

$$\mathbf{r}_M = y_M(\theta)\mathbf{j} + z_M(\theta)\mathbf{k} \quad (85)$$

A (85) egyenlet mátrix formájában, ha a homlokprofil hurkolt evolvens, a következőképpen írható:

$$\underline{\mathbf{r}}_M = \begin{pmatrix} 0 \\ (r_a - h) \cos \theta + r_a \theta \sin \theta \\ (r_a - h) \sin \theta - r_a \theta \cos \theta \\ 1 \end{pmatrix} \quad (86)$$

A (86) generálogörbe által leírt felület helyvektora, az $OXYZ$ koordináta-rendszerben, az alábbi formában írható:

$$\underline{\mathbf{r}} = \mathbf{M}_{0M} \underline{\mathbf{r}}_M \quad (87),$$

ahol az alábbi $\mathbf{M}_{0M}$ mátrix az $O_M X_M Y_M Z_M$ mozgó koordináta-rendszer mozgását fejezi ki az $OXYZ$ álló koordináta-rendszerhez képest:

$$\mathbf{M}_{0M} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & \frac{p_a}{2\pi} \varphi \\ 0 & \cos \varphi & -\sin \varphi & 0 \\ 0 & \sin \varphi & \cos \varphi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (88)$$

Behelyettesítve a (87) egyenletbe a megfelelő értékeket, az alábbi összefüggést kapjuk:

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & \frac{p_a}{2\pi} \varphi \\ 0 & \cos \varphi & -\sin \varphi & 0 \\ 0 & \sin \varphi & \cos \varphi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ (r_a - h) \cos \theta + r_a \theta \sin \theta \\ (r_a - h) \sin \theta - r_a \theta \cos \theta \\ 1 \end{pmatrix} \quad (89)$$

A mátrixok összeszorozása után, a generált felület egyenlete, analitikus formában, a következőképpen írható:

$$\begin{cases} x(\theta, \varphi) = \frac{p_a}{2\pi} \varphi \\ y(\theta, \varphi) = (r_a - h) \cos(\theta + \varphi) + r_a \theta \sin(\theta + \varphi) \\ z(\theta, \varphi) = (r_a - h) \sin(\theta + \varphi) - r_a \theta \cos(\theta + \varphi) \end{cases} \quad (90)$$

A gyakorlat végrehajtása, az eredmények értékelése

A hallgatók elkészítik a kiadott munkadarabok rajzait, feltüntetve ezeken a csavarfelületek emelkedését és lényeges méreteit. Felírják a generálgörbék egyenleteit, valamint a generált felületek egyenleteit, majd ezeket számítógépes környezetben ábrázolják.

14. GYAKORLAT

FELÜLETEK GENERÁLÁSA MARÓGÉPEKEN

A dolgozat egyik célja a palástmarással kapcsolatos ismeretek elsajátítása, megalapozása, valamint a palástmaráskor használt marószerszámok megismerése. A marógépeken a főmozgás a szerszám által végzett forgómozgás, a szánok által végzett, egymásra merőleges irányú mozgások pedig a mellékmozgások. A gyakorlat első részének célja a marógép hajtóműveinek azonosítása, a fő és mellékmozgások létrehozását biztosító kinematikai láncok azonosítása, valamint a különböző fordulatszámok és előtolások beállítási módjának elsajátítása.

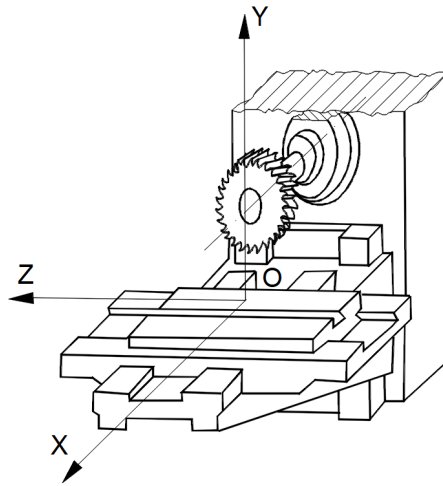
A dolgozat elején meg kell határozni a szerszámgéphez rögzített kinematikai koordináta-rendszert, a generáló- és a vezérgörbék síkjait, a generológörbéket és a vezérgörbét, valamint ezek létrehozásának módját a forgácsolás idején.

A dolgozat utolsó része egy felület (lehetőleg nem síkfelület) megmunkálása a marógépen, a megmunkált felület méretezett rajzának elkészítése, a generáló- és a vezérgörbe egyenleteinek a felírása, valamint a megmunkált felület analitikus egyenletének a levezetése.

Elméleti alapfogalmak

A kinematikai koordináta-rendszer

A szerszámgépen megmunkált felületek analitikus egyenleteit a szerszámgéphez rögzített, álló koordináta-rendszerhez képest írjuk fel, amely rendszert egy derékszögű, jobb sodrású koordináta-rendszer. E koordináta-rendszert kinematikai koordináta-rendszernek vagy szerszámgép-koordinátarendszernek is nevezik.



67. ábra

Az $OXYZ$ kinematikai koordináta-rendszer (67. ábra) OZ tengelyének iránya és értelme megegyezik a főforgácsoló mozgás érintő irányával és értelmével, az OY tengely iránya és értelme megegyezik a radiális forgácsolóerő irányával és értelmével, míg az OX tengely párhuzamos a marógép forgástengelyével, értelmét pedig úgy állapítjuk meg, hogy az $OXYZ$ koordináta-rendszer jobb sodrású legyen.

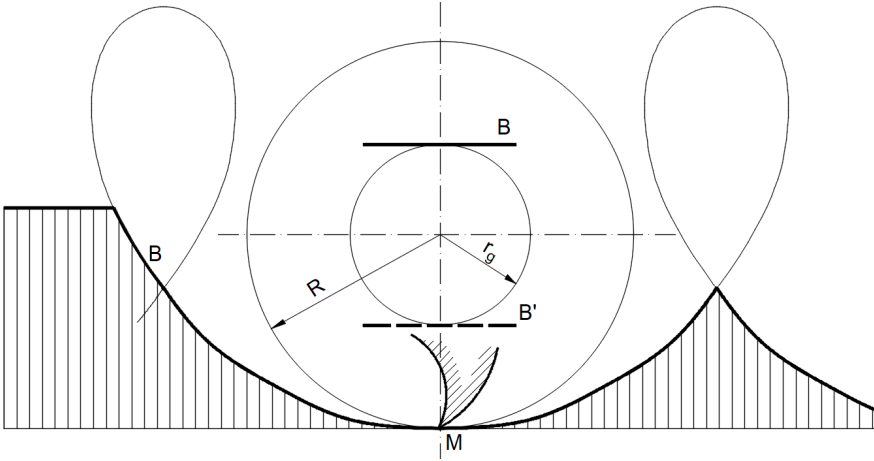
Az $OXYZ$ koordináta-rendszer origója tetszőlegesen választható, de észszerű úgy meghatározni, hogy a generálógörbe analitikus egyenlete minél egyszerűbb legyen.

A vezérgöbe és a generálógörbe azonosítása marógépeken

A palástmarás esetén (akár egyenes élű szerszámot használunk, akár profiltárcsamaróval forgácsolunk) a generálógörbét mindig a szerszám élének formája határozza meg. A vezérgörbe a szerszám élein, egy tetszőleges sugarú körön található pontok által leírt, hurkolt epicikloisok burkológörbéje (egyenese).

A palástmarás esetén a szerszám végzi a főmozgást (a saját tengelye körüli forgómozgást), a munkadarab pedig a mellékmozgást (amely az asztal által végzett előtoló mozgás). Ha a szerszám éle által leírt görbe egyenletét akarjuk

felírni, a munkadarabhoz rögzített álló koordináta-rendszerben, a szerszám végzi mind a forgó, mind az előtoló mozgást. Az így feltételezett mozgás esetén mindig lesz egy r_g sugarú gördülő kör (**68. ábra**), amelynek a kerületi sebessége megegyezik az előtoló mozgás sebességével.



68. ábra

A kerületi sebesség és az előtolás sebességének egyenlőségéből következik:

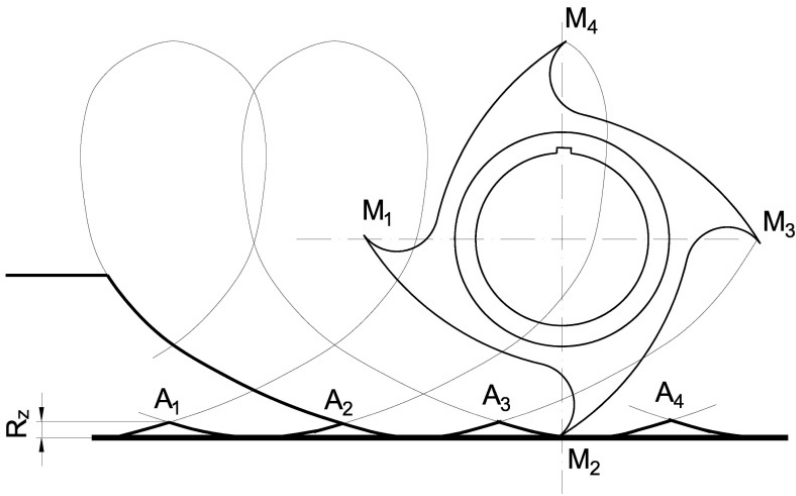
$$r_g = \frac{v_s}{\omega} \quad (91),$$

ahol r_g – a gördülő kör sugara [mm];

v_s – az előtolás sebessége [mm/sec];

ω – a maró szögsebessége [rad/sec].

Az előzőek alapján, a maró által végzett mozgás úgy is tekinthető, mintha az r_g sugarú gördülő kör a (B) egyenesen csúszásmentesen gördülne le (**68. ábra**). Ebben az összetett mozgásban a gördülő körön kívül fekvő pont (például a szerszám élén található M pont) egy hurkolt cikloist ír le. Az egyszerűség kedvéért egy egyenes fogú tárcsamaró esetét tárgyaljuk, mivel ebben az esetben az él minden pontja ugyanolyan hurkolt cikloist ír le, az OX tengelyre merőleges síkokban. Ez lehetővé teszi a probléma tárgyalását az $X = 0$ síkban.

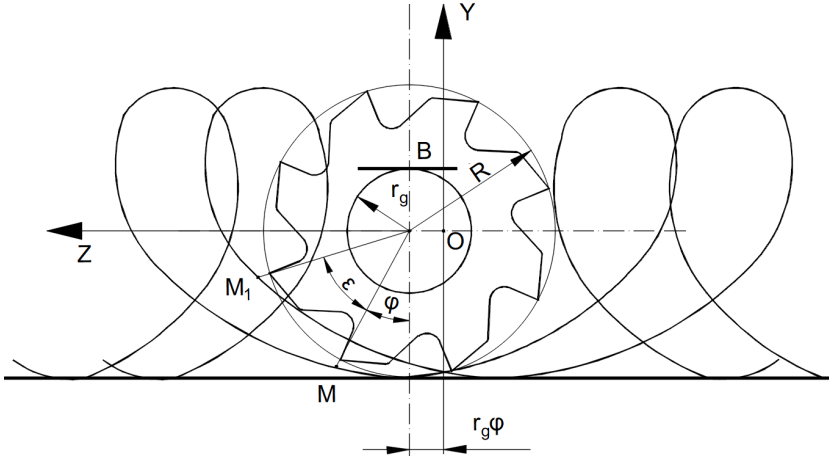


69. ábra

Követve a **69. ábrát** megfigyelhető, hogy a maró minden fogán lévő M pont egy hurkolt cikloist ír le. Ezen görbék relatív helyzete a maró fogosztásainak függvénye. Ha a fogosztás (fogak közti szög) kisebb, a görbék sűrűbbek, a megmunkált felület érdességét jellemző R_z értéke (amelyet az A_i metszéspontok határoznak meg) kisebb. Következik, hogy a megmunkálási pontosság nő a maró fogszámának növekedésével.

A maró fogai által leírt hurkolt cikloisok burkológörbéje a vezérgörbe, amely a maró asztalával párhuzamos egyenes.

Ha az r_g sugarú gördülőkör csúszásmentesen legördül a B egyenesen, a maró kerületén levő pont (a maró tengelyétől R távolságra levő M pont) az YOZ koordináta-rendszerhez képest egy hurkolt cikloist ír le (**70. ábra**). Kezdő helyzetben ($\varphi = 0$) a maró forgástengelye egybeesik a vonatkoztatási rendszer origójával. A maró θ szöggel való elfordulása idején r_g távolsággal mozdul el az OZ tengely irányában is.



70. ábra

A fentiek alapján az M pont által leírt hurkolt ciklois parametrikus egyenletei a következőképpen írhatók fel (70. ábra):

$$\begin{cases} y(\varphi) = -R \cos \varphi \\ z(\varphi) = r_g \varphi + R \sin \varphi \end{cases} \quad (92)$$

A maró előző fogának M_1 pontja is egy hurkolt cikloist ír le (70. ábra), amelynek parametrikus egyenletei:

$$\begin{cases} y(\varphi, \varepsilon) = -R \cos(\varphi + \varepsilon) \\ z(\varphi, \varepsilon) = r_g \varphi + R \sin(\varphi + \varepsilon) \end{cases} \quad (93)$$

A maró minden vágóélének R sugarán lévő pontja egy hurkolt cikloist ír le, amelyeknek parametrikus egyenleteit a következőképpen írhatjuk:

$$\begin{cases} y(\varphi, \varepsilon) = -R \cos(\varphi + K\varepsilon) \\ z(\varphi, \varepsilon) = r_g \varphi + R \sin(\varphi + K\varepsilon) \end{cases} \quad (94)$$

ahol K annak a fognak a száma, amely leírja a görbét.

A (94) egyenlet a maró vágóéllein R távolságra található pontok által leírt, hurkolt ciklois görbesereg-egyenlete, ahol φ a hurkolt cikloisgörbe paramétere, a $K\varepsilon$ pedig a görbesereget generáló paraméter. Következik, hogy a (94) egyenlet

a szerszám R sugarán lévő vágóélek pontjai által leírt görbesereg-egyenlete. A görbesereg végtelenítése érdekében feltételezzük, hogy az ε folytonosan változik, mintha a marónak egyszerű végtelenségnyi foga lenne. Ebben az esetben a vezérgörbe, a palástmarás esetén, a hurkolt ciklois görbesereg burkológörbéje (egyenese). A görbesereg burkológörbét megkapjuk, ha felírjuk a görbesereg két paramétere közti összefüggést:

$$\frac{\frac{\partial y}{\partial \varphi}}{\frac{\partial z}{\partial \varphi}} = \frac{\frac{\partial y}{\partial \varepsilon}}{\frac{\partial z}{\partial \varepsilon}} \quad (95)$$

A (94) egyenlet parciális deriváltjait az alábbiak szerint számítjuk:

$$\begin{aligned} \frac{\partial y}{\partial \varphi} &= R \sin(\varphi + K\varepsilon) \\ \frac{\partial z}{\partial \varphi} &= r_g + R \cos(\varphi + K\varepsilon) \\ \frac{\partial y}{\partial \varepsilon} &= KR \sin(\varphi + K\varepsilon) \\ \frac{\partial z}{\partial \varepsilon} &= KR \cos(\varphi + K\varepsilon) \end{aligned}$$

Behelyettesítve a parciális deriváltak értékeit a (95) egyenletbe, a számítások elvégzése után a következő egyenletet kapjuk:

$$KRr_g \sin(\varphi + K\varepsilon) = 0 \quad (96)$$

amelynek a megoldása: $\varphi + K\varepsilon = (-1)^k \arcsin 0 + k\pi$

Figyelembe véve a trigonometriai függvény első periódusát, a (96) egyenlet gyökei a következők:

$$\begin{aligned} \varphi_1 &= -K\varepsilon \\ \varphi_2 &= \pi - K\varepsilon \end{aligned}$$

Behelyettesítve az első gyök értékét a (94) egyenletbe, a számítások elvégzése után a következő kifejezést kapjuk:

$$\begin{cases} y(\varphi) = -R \\ z(\varphi) = r_g \varphi \end{cases} \quad (97)$$

A (97) kifejezésből következik, hogy φ bármilyen értékére a burkológörbe az OZ tengellyel párhuzamos egyenes, amely ettől $-R$ távolságra van.

Ha (96) egyenlet második gyökét helyettesítjük a (94) egyenletbe, a számítások elvégzése után a következő eredményt kapjuk:

$$\begin{cases} y(\varphi) = R \\ z(\varphi) = r_g \varphi \end{cases} \quad (98),$$

amelyből következik, hogy a (94) hurkolt ciklois seregnek van még egy burkolóegyenes, szintén párhuzamos az OZ tengellyel, és ettől R távolságra van.

A generált felületek egyenletei

A marógépeken generált felületek is az általános szabály szerint jönnek létre. Ezeket a felületeket is a generálógörbe írja le, miközben egy pontja követi a vezérgörbét. A generálógörbét a szerszám éle valósítja meg, és mindig a generálógörbe síkjában, az XOY síkban van.

A marógépeken generált felületek egyenleteit pontosan úgy írjuk fel, mint a gyalugépeken generált felületek egyenleteit. Ezért a számítások menete is ugyanaz, mint a gyalulás esetében. A továbbiakban a gyalugépeken generált felületek esetében használt egyenleteket használjuk.

A gyakorlat végrehajtása, az eredmények értékelése

A hallgatók elkészítik a marógépen megmunkált munkadarabok rajzait, feltüntetve ezeken a megmunkált felületek generálógörbéit. Felírják a generálógörbék, valamint a generált felületek egyenleteit parametrikus formában.

A generálógörbe egyenlete lehet egyszerűbb vagy bonyolultabb, a koordináta-rendszer megválasztásának függvényében. Mivel az $OXYZ$ koordináta-rendszer origója szabadon választható, igyekezni kell ezt úgy megválasztani, hogy a generálógörbe egyenlete minél egyszerűbb legyen.

15. GYAKORLAT

FELÜLETEK GENERÁLÁSA HÁTRAESZTERGÁLÁSSAL (I. RÉSZ)

A gyakorlat célja a hátraesztergálás gyakorlati megvalósításának megértése. Mire, mikor és hogyan használjuk a hátraesztergálást? A generáló- és vezérgörbék meghatározása különböző hátraesztergálás-típusok esetén. A szükséges vezérgörbék létrehozása a szerszámgép különböző mozgásainak kombinálásával.

A dolgozat második részében radiális, ferde és axiális hátraesztergálást végeznek a hallgatók, meghatározva a generáló-, illetve vezérgörbékét a gyakorlat végzése idején, mindenik hátraesztergálás esetében.

A dolgozat utolsó szakaszában felírják a hátraesztergálással generált felületek egyenleteit.

Elméleti alapfogalmak

A hátraesztergálás alapfogalmai

A hátraesztergálást alakos szerszámok, alakos marók hátfelületeinek a megmunkálásakor használják, melynek célja a szerszám hátszögének a létrehozása. A hátraesztergálást úgy kell elvégezni, hogy a szerszám profilja ne változzon az újraélezés után. A profilmarók újraélezése mindig a homlokfelületen történik. A szerszámprofil nem változik újraélezés után, ha a h_0 fogprofilmagasság állandó bármely axiális metszetben (**71. ábra**).



$$\rho = a\theta = \frac{h}{2\pi\theta} \quad (99),$$

ahol ρ – a görbe polársugara;
 θ – a görbe polárszöge.

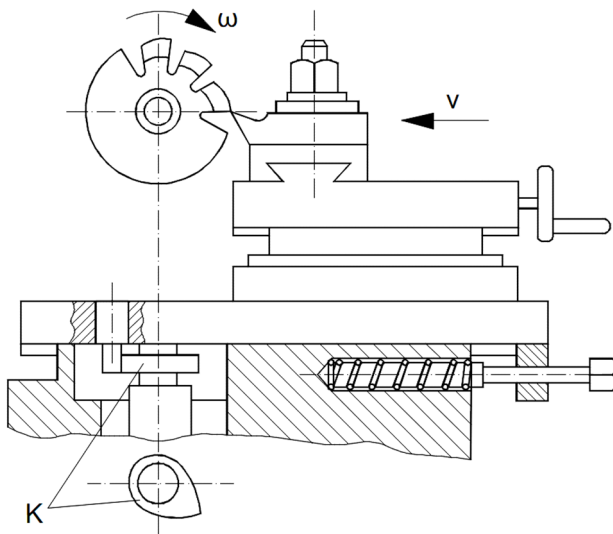
Ha a (99) formában megadott Arkhimédész-féle spirális egyenletét deriváljuk az idő függvényében, a következő összefüggést kapjuk:

$$\frac{dp}{dt} = a \frac{d\theta}{dt} \quad (100),$$

amelyből következik:

$$v = a\omega \quad (101)$$

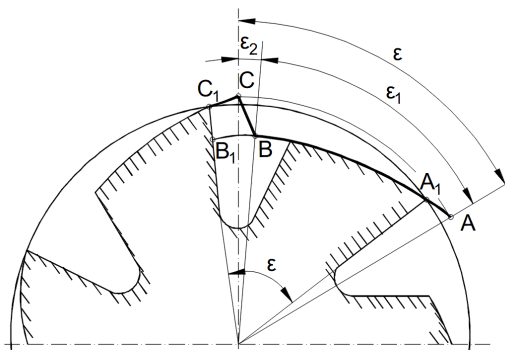
A (101) egyenlet mutatja, hogy az Arkhimédész-féle spirális generálását, hátraesztergagépeken, egy állandó szögsebességű forgó mozgás és egy állandó sebességű radiális mozgás kombinációja biztosítja (**73. ábra**).



73. ábra

A megmunkálandó szerszám elfordulását (állandó ω szögsebességgel) a szerszám gép főtengelye biztosítja, míg a hátramunkáló szerszám radiális elmozdulását (konstans v sebességgel) a hátraesztergáló szán végzi, amelyet a K vezértárcsa mozgat. Az elméleti vezérgörbe (**74. ábra**) az $(A_1B_1C_1)$ pálya, amelyet a generálógörbe egy bizonyos pontja követ. Ha a

hátraesztergáló szerszám tudná követni ezt a pályát, a $\overline{B_1C_1}$ szakaszt végtelen sebességgel kellene, hogy megtegye, ami gyakorlatilag lehetetlen. Ezért a hátraesztergálás idején a reális vezérgörbe a hátraesztergáló szerszám által leírt (ABC) pálya (**74. ábra**).

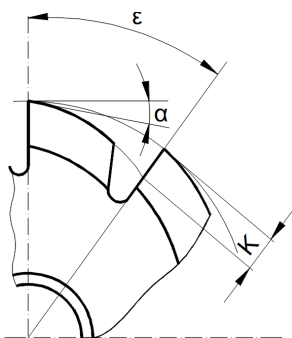


74. ábra

A hátszög és a hátramunkálás nagyságának összefüggése

A hátramunkálással előállított profilmarók géprajzán mindig fel kell tüntetni a hátramunkálás K értékét (**75. ábra**), amely az Arkhimédész-féle spirális polársugar-csökkentését jelenti a megmunkálandó szerszám fogosztásával egyenlő polárszög értékére.

$$K = \frac{\pi D}{z} \operatorname{tg} \alpha$$



75. ábra

A hátramunkálás K értékét az alábbi képlettel számítjuk ki:

$$K = \frac{\pi D}{z} \operatorname{tg} \alpha \quad (102)$$

A (102) egyenlet a hátramunkálás nagysága és a hátszög értéke közötti összefüggést adja.

Az Arkhimédész-féle spirális emelkedését (amely az Arkhimédész-féle spirális polársugár változása a polárszög 360° -os értékére) megkapjuk, ha a hátramunkálás K értékét megszorozzuk a megmunkálandó maró z fogszámával. Tehát a h emelkedés értékét az alábbi képlettel számítjuk:

$$h = Kz \quad (103)$$

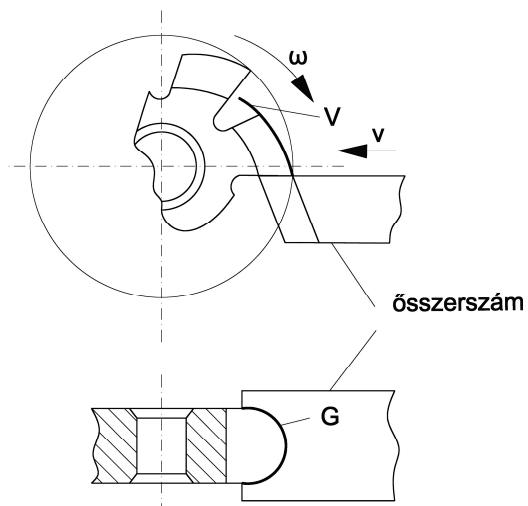
Itt jegyezzük meg, hogy hátramunkálás beállítására a K értékére van szükség, mivel ennek függvényében választják meg a vezértárcsát és állítják be a tapintó helyzetét, a megmunkált hátfelület analitikus egyenletének a felírásakor azonban a h értékére van szükség.

A vezérgöbe és a generológörbe meghatározása

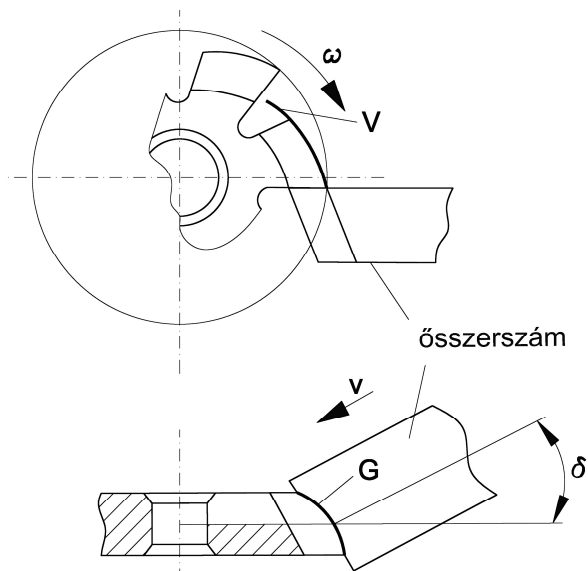
A profilmarók vágóélei lehetnek a maró palást-, a homlok- vagy mindkét felületén. Mindezen profilmarók hátfelülete nem megmunkálható olyan hátraesztergálással, ahol a vezérgörbe mindig Arkhimédész-féle spirális. A hátraesztergáló szán elmozdulási irányának megfelelően megkülönböztetünk:

- radiális hátraesztergálást;
- ferde hátraesztergálást;
- axiális hátraesztergálást;
- csavarvonal szerinti hátraesztergálást.

A radiális hátraesztergálás esetén (**76. ábra**) a megmunkálandó szerszám végzi az állandó szögsebességű forgó mozgást, a hátraesztergáló szán pedig a radiális előtoló mozgást, állandó sebességgel. A generológörbét az összerszám (a hátraesztergáló kés) éle valósítja meg, a vezérgörbe pedig egy Arkhimédész-féle spirális ív.



76. ábra



77. ábra

Abban az esetben, ha a maró vágóélei az egyik oldalfelületen helyezkednek el, nagyobb és egyenletesebb nagyságú hátszöget lehet elérni ferde hátraesztergálással. A ferde hátraesztergálás esetén a hátraesztergáló szán δ szöggel el van fordítva a forgástengelyre húzott merőlegeshez, azaz a radiális beszúrás irányához képest (**77. ábra**). A ferde hátraesztergáláskor is a hátraesztergáló kés forgácsolóéle testesíti meg a generálogörbét, a vezérgörbe pedig egy kúpos csavartvonal.

Az axiális hátraesztergálásnál a hátraesztergáló szán 90° -kal van elfordítva a radiális hátraesztergálás alaphelyzetéhez képest. Ebben az esetben a $\delta = 90^\circ$. Az axiális hátraesztergálás esetén is a generálogörbét az összerszám vágóéle valóítja meg, míg a vezérgörbe egy állandó emelkedésű csigavonal.

A hátraesztergálással generált felületek egyenletei

A hátraesztergálással létrehozott felületek egyenleteit a hátraesztergált szerszámhoz rögzített koordináta-rendszerben írjuk fel. Ez egybeesik a szerszámgép álló kinematikai koordináta-rendszerével (amely megegyezik az esztergagépek álló kinematikai koordináta-rendszerével). Következik, hogy a megmunkált felületek egyenleteinek felírásakor a megmunkált darabot (a profilmarót) állónak tekintjük, és minden mozgást az összerszám végez. Az elméleti generálás esetén a generálogörbe úgy mozdul el, hogy egy kijelölt pontja követi a vezérgörbét.

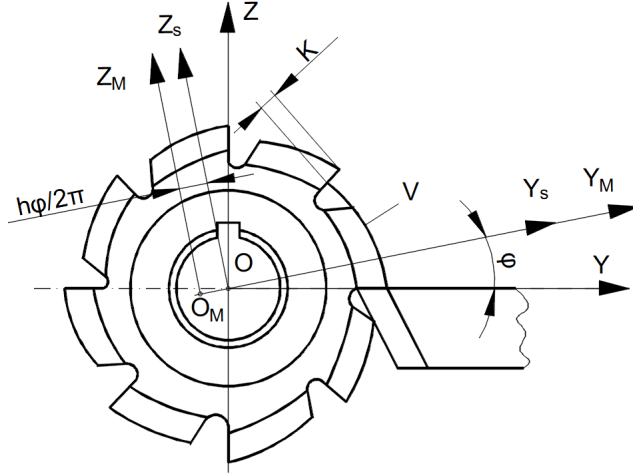
Az alábbiakban a hátraesztergált felületek analitikus egyenleteinek a levezetését mutatjuk be különböző hátraesztergálási eljárások esetén.

Radiális hátraesztergálás

A generálogörbét (amelyet a hátraesztergáló szerszám vágóéle testesít meg) a mozgó $O_M X_M Y_M Z_M$ koordináta-rendszerhez kötjük (ami azt jelenti, hogy együtt mozog ezzel a rendszerrel). A kezdő helyzetben a mozgó koordináta-rendszer egybeesik az álló $OXYZ$ szerszámgéphez rögzített koordináta-rendszerrel.

A generálogörbe az $X_M O_M Y_M$ generálsíkban van. Ennek vektoriális egyenlete:

$$\mathbf{r}_M = x(\theta)\mathbf{i} + y(\theta)\mathbf{j}$$



78. ábra

A hátramunkált felület egyenletének levezetése céljából bevezetjük az $OX_s Y_s Z_s$ segéd-koordinátarendszert, amely forgómozgást végez az OX tengely körül (a mozgásparaméter a φ szög). A hátfelület elméleti generálása idején az $O_M X_M Y_M Z_M$ rendszer együtt forog az $OX_s Y_s Z_s$ segéd-koordinátarendszerrel, de ehhez a rendszerhez képest a mozgó koordináta-rendszer O_M origója elmozdul az OY_s tengely negatív irányába $\frac{h}{2\pi}\varphi$ értékkel (78. ábra), ahol a h az Arkhimédész-féle spirális emelkedése. Az $O_M X_M Y_M Z_M$ koordináta-rendszer elmozdulását az $OX_s Y_s Z_s$ segéd-vonatkoztatásirendszerhez képest az alábbi mátrix írja le:

$$\mathbf{M}_{sM} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -\frac{h}{2\pi}\varphi \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (104)$$

Az $OX_sY_sZ_s$ rendszerben felírt koordináták az alábbi mátrix segítségével írhatók át az $OXYZ$ rendszerbe (figyelembe véve, hogy a segédrendszer csak elfordulást végez az álló rendszerhez képest):

$$\mathbf{M}_{0s} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \varphi & -\sin \varphi & 0 \\ 0 & \sin \varphi & \cos \varphi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (105)$$

A mozgó vonatkoztatási rendszerben felírt pontok/görbék koordinátái átírhatók az álló koordináta-rendszerbe az $\mathbf{M}_{0M}$ mátrix segítségével, amelyet az előző mátrixok szorzata ad meg a következőképpen: $\mathbf{M}_{0M} = \mathbf{M}_{0s} \mathbf{M}_{sM}$. A szorzási műveletek elvégzése után az alábbi mátrixot kapjuk:

$$\mathbf{M}_{0M} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \varphi & -\sin \varphi & -\frac{h}{2\pi} \varphi \cos \varphi \\ 0 & \sin \varphi & \cos \varphi & -\frac{h}{2\pi} \varphi \sin \varphi \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (106)$$

A generálgörbe által leírt hátfelület helyzetvektorát a következő egyenlet adja:

$$\underline{\mathbf{r}} = \mathbf{M}_{0M} \underline{\mathbf{r}}_M \quad (107),$$

amelyet az alábbi formában is felírhatunk:

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \varphi & -\sin \varphi & -\frac{h}{2\pi} \varphi \cos \varphi \\ 0 & \sin \varphi & \cos \varphi & -\frac{h}{2\pi} \varphi \sin \varphi \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x(\theta) \\ y(\theta) \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} \quad (108)$$

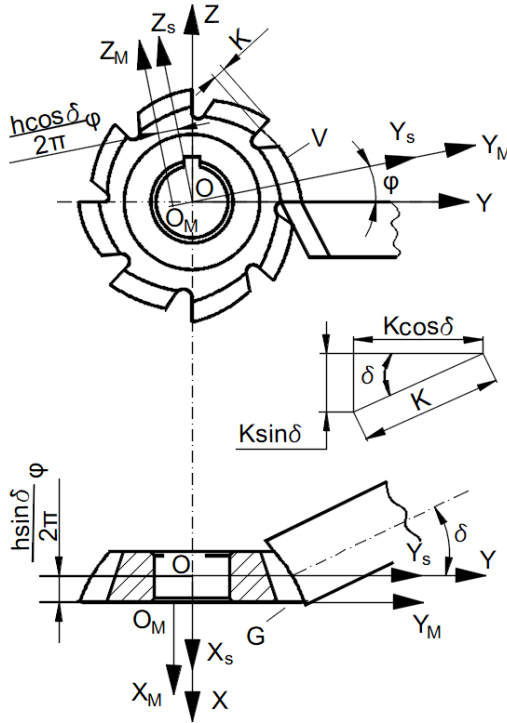
Elvégezve a mátrixok összeszorzását, az alábbi egyenleteket kapjuk:

$$\begin{cases} x(\theta, \varphi) = x(\theta) \\ y(\theta, \varphi) = \left[y(\theta) - \frac{h\varphi}{2\pi} \right] \cos \varphi \\ z(\theta, \varphi) = \left[y(\theta) - \frac{h\varphi}{2\pi} \right] \sin \varphi \end{cases} \quad (109)$$

A (109) egyenlet a radiális hátraesztergálással megmunkált profilmaró fog-hátfelületének analitikus egyenlete.

Ferde hátraesztergálás

A ferde hátraesztergáláskor a hátramunkáló szán δ szöggel el van fordítva a radiális hátraesztergálásnál használt beállításhoz képest (**79. ábra**).



79. ábra

A hátraesztergálás alatt a vezértárcsa a K hátramunkálás nagyságával mozditja el az elfordított hátramunkáló szánt a saját vezetékein. A K értékű

diagonális eltolás miatt a generálgörbe egy pontja $K \sin \delta$ értékkel mozdul el axiális irányban és $K \cos \delta$ értékkel radiális irányban, egy fogosztás alatt.

A ferde hátraesztérgáláskor is a generálgörbét a szerszám éle adja. A hátaramunkált felület analitikus egyenleteinek felírása céljából a generálgörbét, ebben az esetben is, az $O_M X_M Y_M Z_M$ mozgó koordináta-rendszerhez kötjük. A generálgörbe helyvektora, általános alakban, az alábbi formában írható:

$$\mathbf{r}_M = x(\theta)\mathbf{i} + y(\theta)\mathbf{j}$$

Itt is behozzuk az $O X_S Y_S Z_S$ segéd-koordinátarendszert, amelynek ugyanaz a szerepe, mint a radiális hátraesztérgáláskor, a mozgásparamétert itt is φ -vel jelöljük.

A diagonális hátaramunkálással létrehozott szerszám hátfelületének analitikus egyenlete felírásakor figyelembe kell venni, hogy mind az axiális, mind a radiális elmozdulás arányos a φ elfordulási szöggel. A φ szögnek megfelelő axiális elmozdulás értéke $\frac{h \sin \delta}{2\pi} \varphi$, a radiálisé pedig $\frac{h \cos \delta}{2\pi} \varphi$.

Figyelembe véve, hogy az $O_M X_M Y_M Z_M$ koordináta-rendszer origója az $O_S X_S Y_S Z_S$ koordináta-rendszer $X_S O_S Y_S$ síkjában csúszik el, az előzőekhez hasonló mátrix-transzformációt kell alkalmazni. Ennek elvégzését a hallgatóra bízuk. A generált felület parametrikus egyenletei az alábbi mátrixegyenletből következnek:

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & \frac{h \sin \delta}{2\pi} \varphi \\ 0 & \cos \varphi & -\sin \varphi & -\frac{h \cos \delta}{2\pi} \varphi \cos \varphi \\ 0 & \sin \varphi & \cos \varphi & -\frac{h \cos \delta}{2\pi} \varphi \sin \varphi \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x(\theta) \\ y(\theta) \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} \quad (110)$$

A mátrixok összeszorozása után megkapjuk a (111) egyenletrendszert, amely a ferde hátraesztérgálásból származó hátfelület parametrikus egyenleteiből áll:

$$\begin{cases} x(\theta, \varphi) = x(\theta) + \frac{h \sin \delta}{2\pi} \varphi \\ y(\theta, \varphi) = \left[y(\theta) - \frac{h \cos \delta}{2\pi} \varphi \right] \cos \varphi \\ z(\theta, \varphi) = \left[y(\theta) - \frac{h \cos \delta}{2\pi} \varphi \right] \sin \varphi \end{cases} \quad (111)$$

Axiális hátraesztergálás

Az axiális hátramunkálás a ferde hátramunkálás sajátos (partikuláris) esete, ami akkor valósul meg, ha a δ szög értéke $\frac{\pi}{2}$. A levezetések után a hátramunkált felület analitikus egyenletét mátrixformában az alábbi módon írhatjuk le:

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & \frac{h}{2\pi} \varphi \\ 0 & \cos \varphi & -\sin \varphi & 0 \\ 0 & \sin \varphi & \cos \varphi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x(\theta) \\ y(\theta) \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} \quad (112)$$

Elvégezve a mátrixok összeszorzását, megkapjuk az axiális módszerrel hátramunkált felület analitikus egyenletét az alábbi formában:

$$\begin{cases} x(\theta, \varphi) = x(\theta) + \frac{h}{2\pi} \varphi \\ y(\theta, \varphi) = y(\theta) \cos \varphi \\ z(\theta, \varphi) = y(\theta) \sin \varphi \end{cases} \quad (113)$$

A gyakorlat végrehajtása, Az eredmények értékelése

A hallgatók elkészítik a hátraesztergálással megmunkált profilmarók vázlatrajzait, feltüntetve ezeken a megmunkált felületek generálógörbéit. Felírják a generálógörbék, valamint a generált felületek egyenleteit, radiális, ferde és axiális hátraesztergálás esetén, valamint ábrázolják azokat.

16. GYAKORLAT

FELÜLETEK GENERÁLÁSA HÁTRAESZTERGÁLÁSSAL (II. RÉSZ)

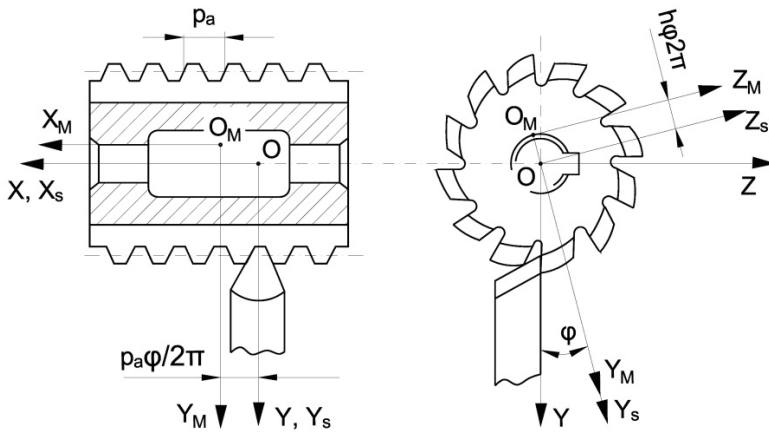
A fő cél a csavarfelületeken található vágóélek hátszögeinek a kialakítása hátraesztorgálással és a csavarvonal szerinti hátraesztorgálás gyakorlati megvalósításának megértése. Mikor és hogyan használjuk a csavarvonal szerinti hátraesztorgálást? A generáló- és vezérgörbék meghatározása csavarvonal szerinti hátraesztorgálások idején. A vezérgörbe létrehozása a szerszámgép különböző mozgásainak kombinálásával.

A dolgozat második részében, a hallgatók, a csigamarók hátraesztorgálását tanulmányozzák, meghatározva a generáló-, illetve a vezérgörbét, és felírják a hátraesztorgálással generált felületek egyenleteit.

Elméleti alapfogalmak

A hátraesztorgálás alapfogalmai

A csigamarók esetében a vágóélek csavarfelületeken (a csiga oldalfelületein és palástfelületén) helyezkednek el (**80. ábra**). A hengeres csigák megmunkálása a 13. laborgyakorlatban leírtak alapján történik. A munkadarab végzi az állandó fordulatszámú forgómozgást, a hátraesztorgáló kés pedig az axiális előtoló mozgást úgy, hogy a munkadarab egy fordulata alatt az előtolás értéke megegyezik a csigamaró axiális emelkedésével. E mozgásokra rátevődik a hátraesztorgáló mozgás a hátfelület megmunkálása idején.



80. ábra

A vezérgörbe és a generológörbe meghatározása

A generológörbét a csavarvonal szerinti hátraesztergáláskor is az összerszám vágóéle biztosítja. A vezérgörbe egy kúpos csavarvonalív, amely a forgómozgás, axiális és radiális elmozdulások összetevőjeként jön létre.

A csavarvonal szerinti hátraesztergálással generált felületek egyenletei

A hátraesztergálással létrehozott felületek egyenleteit a hátraesztergált szerszámhoz rögzített koordináta-rendszerben írjuk fel. Ez egybeesik a szerszám-gép álló kinematikai koordináta-rendszerével (amely megegyezik az esztergagépek álló kinematikai koordináta-rendszerével). Következik, hogy a megmunkált felületek egyenleteinek felírásakor a megmunkált darabot (a csigamarót) mozdulatlanak tekintjük, és minden mozgást a hátraesztergáló szerszám végez. Az elméleti generálás esetén a generológörbe úgy mozdul el, hogy egy pontja követi a vezérgörbét, vagyis forgó mozgást, axiális és radiális mozgást végez.

Az alábbiakban a csavarvonal szerinti hátraesztergálással megmunkált felületek analitikus egyenleteinek a felírását mutatjuk be.

A generológörbét (amelyet a hátraesztergáló szerszám vágóéle testesít meg) a mozgó $O_M X_M Y_M Z_M$ koordináta-rendszerhez rögzítjük (ami azt jelenti, hogy

együtt mozog ezzel a rendszerrel). A kezdő helyzetben a mozgó koordináta-rendszer egybeesik az álló $OXYZ$ szerszámgéphez rögzített koordináta-rendszerrel.

A generálgörbe az $X_M O_M Y_M$ generálósíkban van. Ennek általános egyenlete, mátrix formájában:

$$\mathbf{r}_M = \begin{pmatrix} x(\theta) \\ y(\theta) \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} \quad (114)$$

A hátramunkált felület egyenletének levezetése céljából bevezetjük az $OX_S Y_S Z_S$ segéd-koordinátarendszert, amely forgó mozgást végez az OX tengely körül (a mozgásparaméter a φ szög). A hátfelület elméleti generálása idején az $O_M X_M Y_M Z_M$ rendszer együtt forog az $OX_S Y_S Z_S$ segéd-koordinátarendszerrel, de ehhez a rendszerhez képest a mozgó koordináta-rendszer origója, O_M , elmozdul az OY_S tengely negatív irányába $\frac{h}{2\pi}\varphi$ értékkel (ahol h az Arkhimédész-féle spirális emelkedése) és az OX tengellyel párhuzamosan $\frac{p_a}{2\pi}\varphi$ értékkel (ahol p_a a csigamaró tengelyirányú emelkedése). A fent leírt mozgásokat az alábbi mátrix tartalmazza:

$$\mathbf{M}_{0M} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & \frac{p_a}{2\pi}\varphi \\ 0 & \cos \varphi & -\sin \varphi & -\frac{h}{2\pi}\varphi \cos \varphi \\ 0 & \sin \varphi & \cos \varphi & -\frac{h}{2\pi}\varphi \sin \varphi \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (115)$$

A csavarvonal szerinti hátraesztergálással megmunkált foghátfelület homogen koordinátáit a következőképpen írhatjuk fel, mátrix alakban:

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & \frac{p_a}{2\pi}\varphi \\ 0 & \cos \varphi & -\sin \varphi & -\frac{h}{2\pi}\varphi \cos \varphi \\ 0 & \sin \varphi & \cos \varphi & -\frac{h}{2\pi}\varphi \sin \varphi \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x(\theta) \\ y(\theta) \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} \quad (116)$$

Összeszorozva a mátrixokat, a csavarvonal szerinti hátraesztergálással létrehozott csigamaró-foghátfelület egyenleteit az alábbi formában kapjuk meg:

$$\begin{cases} x(\theta, \varphi) = x(\theta) + \frac{p_a}{2\pi}\varphi \\ y(\theta, \varphi) = \left[y(\theta) - \frac{h}{2\pi}\varphi \right] \cos \varphi \\ z(\theta, \varphi) = \left[y(\theta) - \frac{h}{2\pi}\varphi \right] \sin \varphi \end{cases} \quad (117)$$

A gyakorlat végrehajtása, az eredmények értékelése

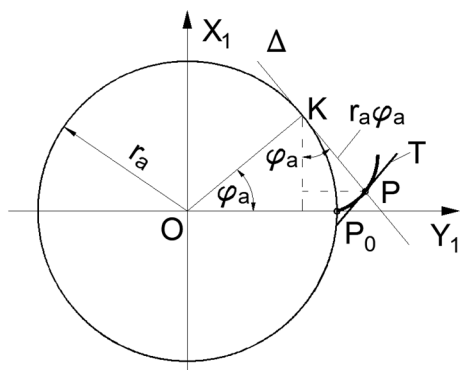
A hallgatók elkészítik a csavarvonal szerinti hátraesztergálással megmunkált csigamarók rajzait, feltüntetve ezeken a megmunkált felületek generálógörbéit. Felírják a generálógörbe, valamint a generált felületek egyenleteit csavarvonal szerinti hátraesztergálás esetén, és ábrázolják azokat.

AZ EVOLVENSPROFIL GENERÁLÁSA FÉSŰSKÉSEL

A gyakorlat utolsó része az evolvensprofil elméleti, valamint gyakorlati megvalósításának a szimulálására helyezi a hangsúlyt.

Az evolvensprofil elméleti generálása

Az evolvensgörbét (**81. ábra**) egy egyenes ((Δ) egyenes) bizonyos pontja (P pontja) írja le, ha az egyenes csúszásmentesen legördül az r_n sugarú alapkörön.

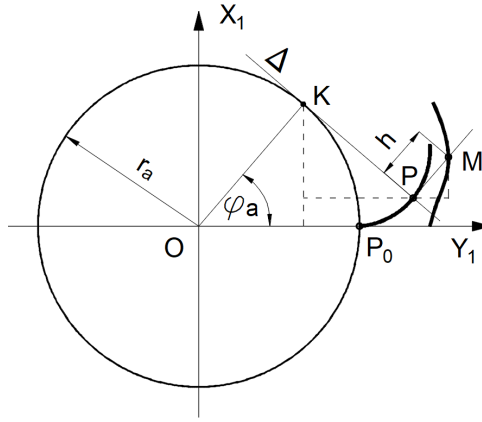


81. ábra

A (Δ) egyenes az evolvens normálisa, amiből következik, hogy a normálisra húzott merőleges (T) egyenes a görbe érintője.

Az $OX_1Y_1Z_1$ rendszerben **(81. ábra)** az evolvensgörbe egyenletét az alábbi módon írjuk fel:

$$\begin{cases} x_1(\varphi_a) = r_a \sin \varphi_a - r_a \varphi_a \cos \varphi_a \\ y_1(\varphi_a) = r_a \cos \varphi_a + r_a \varphi_a \sin \varphi_a \\ z_1(\varphi_a) = 0 \end{cases} \quad (118)$$



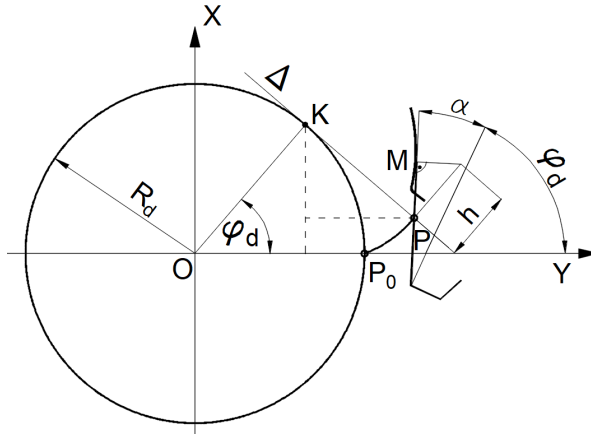
82. ábra

A Δ egyenes felett h távolságra helyezkedő M pont egy nyújtott evolvenst ír le, amelynek egyenlete az $OX_1Y_1Z_1$ rendszerben **(82. ábra)** az alábbi módon írható le:

$$\begin{cases} x_1(\varphi_a; h) = (r_a + h) \sin \varphi_a - r_a \varphi_a \cos \varphi_a \\ y_1(\varphi_a; h) = (r_a + h) \cos \varphi_a + r_a \varphi_a \sin \varphi_a \\ z_1(\varphi_a; h) = 0 \end{cases} \quad (119)$$

Ha az M pont a (Δ) egyenes alatt helyezkedik el h távolságra, a pont egy hurkolt evolvenst ír le, miközben a (Δ) egyenes csúszásmentesen legördül az alapkörön.

Jelen dolgozatban csak az elemi fogazás esetét tárgyaljuk, az egyszerűség kedvéért. Megjegyezzük azonban, hogy az elvek érvényesek az általános fogazásra is.

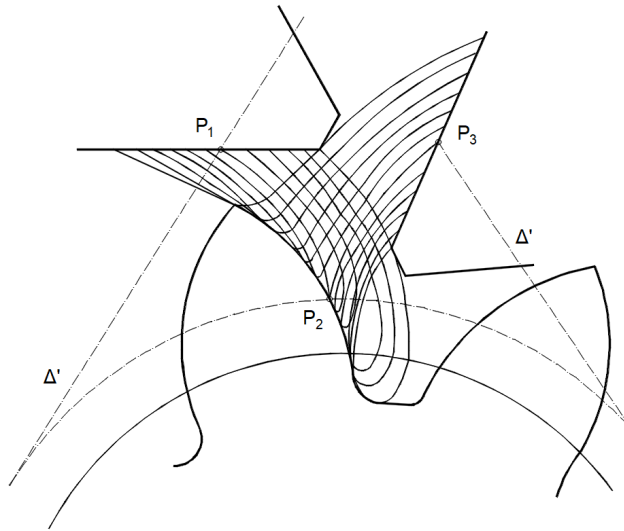


83. ábra

Elemi fogazásnál az egyenes fogú, hengeres fogaskerek megmunkálásakor a fésűskés osztóvonala gördül le a fogaskerék osztókörén (**83. ábra**). Az $OXYZ$ koordináta-rendszerben (**83. ábra**) az M pont által leírt görbe egyenletét az alábbi formában írjuk:

$$\begin{cases} x(\varphi_d; h) = R_d \sin \varphi_d - R_d \varphi_d \cos \varphi_d + h \cos \alpha \sin(\varphi_d + \alpha) \\ y(\varphi_d; h) = R_d \cos \varphi_d + R_d \varphi_d \sin \varphi_d + h \cos \alpha \sin(\varphi_d + \alpha) \\ z(\varphi_d; h) = 0 \end{cases} \quad (120)$$

Ha a h távolságot (amely az M pont helyzetét határozza meg a Δ' egyeneshez képest) változó paraméternek tekintjük, a (120) egyenlet egy görbesereg egyenletét adja. E görbesereg grafikus ábrázolása a **84. ábrán** látható.



84. ábra

Megfigyelhető, hogy a fésűskés vágóélének csak a Δ' egyenesen levő P_1 pontja ír le evolvensgörbét. A Δ' egyenes felett elhelyezkedő pontok nyújtott, az egyenes alatt levő pontok hurkolt evolvenst írnak le. E görbesereg burkológörbéje az alapkörről lefejtett evolvens.

Az alábbiakban analitikusan bizonyítjuk, hogy a (120) egyenlet által leírt görbesereg burkológörbéje az alapkörről generált evolvensprofil.

Egy parametrikus formában megadott görbesereg burkológörbéjének felírásához szükséges a két paraméter közti összefüggés meghatározása, amelyet az alábbi összefüggésből számítunk ki:

$$\frac{\frac{\partial x}{\partial \varphi_d}}{\frac{\partial y}{\partial \varphi_d}} = \frac{\frac{\partial x}{\partial h}}{\frac{\partial y}{\partial h}} \quad (121)$$

Kiszámítva a (120) egyenletben szereplő függvények parciális deriváltjait, megkapjuk az alábbi összefüggéseket:

$$\frac{\partial x}{\partial \varphi_d} = R_d \varphi_d \sin \varphi_d + h \cos \alpha \cos(\varphi_d + \alpha)$$

$$\frac{\partial y}{\partial \varphi_d} = R_d \varphi_d \cos \varphi_d - h \cos \alpha \sin(\varphi_d + \alpha)$$

$$\frac{\partial x}{\partial h} = \cos \alpha \sin(\varphi_d + \alpha)$$

$$\frac{\partial y}{\partial h} = \cos \alpha \cos(\varphi_d + \alpha)$$

Behelyettesítve a parciális deriváltak fentebb látható kifejezéseit a (121) egyenletbe, a számítások elvégzése után megkapjuk a két paraméter közti összefüggést az alábbi formában:

$$R_d \varphi_d [\cos \varphi_d \sin(\varphi_d + \alpha) - \sin \varphi_d \cos(\varphi_d + \alpha)] = h \cos \alpha \quad (122)$$

Kifejezve a h értékét a (122) egyenletből, következik:

$$h = \frac{R_d \varphi_d \sin \alpha}{\cos \alpha} \quad (123)$$

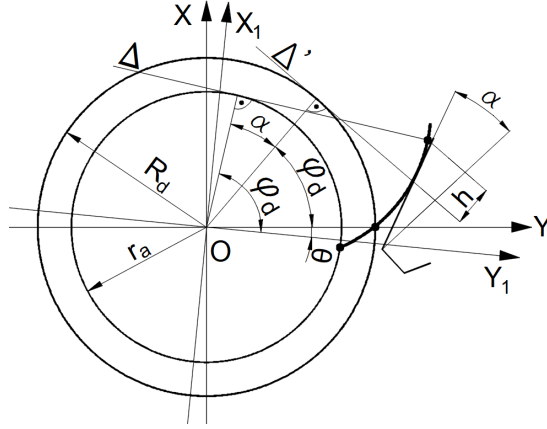
Behelyettesítve a (123) kifejezést a (120) görbesereg egyenleteibe, megkapjuk a burkológörbe analitikus egyenletét az alábbi formában:

$$\begin{cases} x(\varphi_d) = R_d \sin \varphi_d - R_d \varphi_d \cos \alpha \cos(\varphi_d + \alpha) \\ y(\varphi_d) = R_d \cos \varphi_d + R_d \varphi_d \cos \alpha \sin(\varphi_d + \alpha) \\ z(\varphi_d) = 0 \end{cases} \quad (124)$$

A (124) egyenlet a fésűskés vágóéle által burkolt evolvensprofil egyenlete. A (119) és a (124) egyenletek ugyanazon görbe analitikus egyenletei, különböző módon írva. Az alábbiakban a két egyenlet azonosságát bizonyítjuk.

Alaposabb megfigyelés alapján látható, hogy az egyenleteket különböző koordináta-rendszerekhez viszonyítva írtuk fel, amelyek relatív helyzetét a **85. ábrán** láthatjuk. Az $OX_1Y_1Z_1$ és az $OXYZ$ koordináta-rendszerek viszonylagos

helyzetét a θ szög mutatja (amely egy OZ tengely körüli elfordulást jelent). A hengeres fogaskerek elméletéből tudjuk, hogy $\theta = \text{tg } \alpha - \alpha = \text{inv } \alpha$.



85. ábra

Az $OXYZ$ koordináta-rendszerben kifejezett egyenleteket az alábbi mátrix segítségével írhatjuk át az $OX_1Y_1Z_1$ rendszerbe:

$$\mathbf{M}_{10} = \begin{pmatrix} \cos \theta & \sin \theta & 0 & 0 \\ -\sin \theta & \cos \theta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (125)$$

A fenti mátrix alapján írható le:

$$\begin{cases} x_1 = x \cos \theta + y \sin \theta \\ y_1 = -x \sin \theta + y \cos \theta \\ z_1 = z \end{cases} \quad (126)$$

Behelyettesítve az x és y értékeit a (124) egyenletből a (126) egyenletbe, az alábbi egyenletet kapjuk:

$$\begin{cases} x_1(\varphi_d) = R_d \sin(\varphi_d + \theta) - R_d \varphi_d \cos \alpha \cos(\varphi_d + \alpha + \theta) \\ y_1(\varphi_d) = R_d \cos(\varphi_d + \theta) + R_d \varphi_d \cos \alpha \sin(\varphi_d + \alpha + \theta) \\ z_1(\varphi_d) = 0 \end{cases} \quad (127)$$

A **85. ábra** alapján következik, hogy $\varphi_b = \varphi_d - \alpha - \theta$, amelynek alapján az előző egyenlet az alábbi formában írható le:

$$\begin{cases} x_1(\varphi_a) = R_d \sin(\varphi_a - \alpha) - R_d(\varphi_a - \tan \alpha) \cos \alpha \cos \varphi_a \\ y_1(\varphi_a) = R_d \cos(\varphi_a - \alpha) + R_d(\varphi_a - \tan \alpha) \cos \alpha \sin \varphi_a \\ z_1(\varphi_a) = 0 \end{cases} \quad (128)$$

Figyelembe véve, hogy $R_d \cos \alpha = r_a$, a számítások elvégzése után megkapjuk, hogy:

$$\begin{cases} x_1(\varphi_a) = r_a \sin \varphi_a - r_a \varphi_a \cos \varphi_a \\ y_1(\varphi_a) = r_a \cos \varphi_a + r_a \varphi_a \sin \varphi_a \\ z_1(\varphi_a) = 0 \end{cases} \quad (129)$$

A (118) és a (129) egyenletek összehasonlításából következik, hogy a fésűskés vágóélén található pontok által az osztókorre épített hurkolt és nyújtott, valamint egyetlen hegyes evolvensből alkotott görbesereg burkológörbéje az alapkörrel lefejtett evolvens.

A gyakorlat végrehajtása, az eredmények kiértékelése

A levezetett egyenletek segítségével a hallgatók lerajzolják, esetleg szimulálják a vágóél pontjai által leírt görbéket.

Változtatva a fogaskerék központja és a fésűskés közti távolságot (általános fogazás), tanulmányozni lehet az alámetszés, illetve a fogkihegyesedés határait.

Az elméleti eset tárgyalásakor a fogaskerék álló helyzetben van, és a fogasléc osztóegyenese gördül le a fogaskerék osztókörén. A fogazógépeken (gyakorlati generálás esetén) a fogaskerék gördülőköre gördül le a fésűskés osztóegyenese.

Állandó értékeket adva a h paraméternek ($h_1 \dots h_n$ között), felrajzolják a vágóél pontja által leírt görbét a φ_d függvényében.

18. GYAKORLAT

AZ EVOLVENSZPROFIL GENERÁLÁSA METSZŐKERÉKKEL

A dolgozat első része az evolvensprofil analitikus egyenletének levezetését mutatja be abban az esetben, ha a generálószerszám vágóéle szintén evolvensprofilú. Az egyenletek analitikus levezetése mellett a generálás grafikus szimulálását is tárgyalja a dolgozat.

Alapos tanulmányozás után a hallgató világos képet alkothat az evolvensprofilú hengeres fogaskerek metszőkerékkel történő generálásáról. A fogazott fogaskerék fogprofilja a szerszám vágóélprofilja által leírt görbesereg burkológörbéjeként jön létre.

Elméleti alapfogalmak

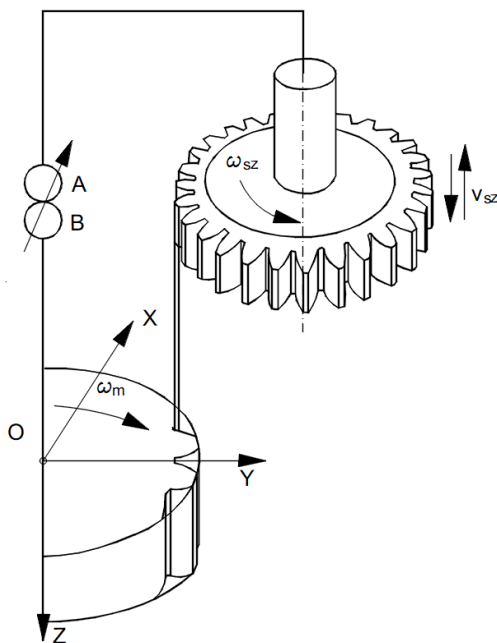
Az evolvensprofil elméleti generálása

A metszőkerekes fogvágógépek működése a hengeres fogaskerékpár kapcsolódásának elvén alapszik. Ha a két fogaskerék közül az egyik szerszámacélból készül, megfelelő homlok- és hátszöggel, a fogaskerék metszőkerékké alakul (**86. ábra**). Az egyszerűsítés kedvéért feltételezzük, hogy a metszőkereket olyan vágóélprofillal készítik, hogy az él vetülete a homloksíkra evolvensprofil legyen. A valóságban, a technológiai egyszerűsítés következményeként, a vágóél vetülete a generálás síkjában eltér az evolvenstől. Ezt az eltérést nevezzük a metszőkerék elméleti profilhibájának.



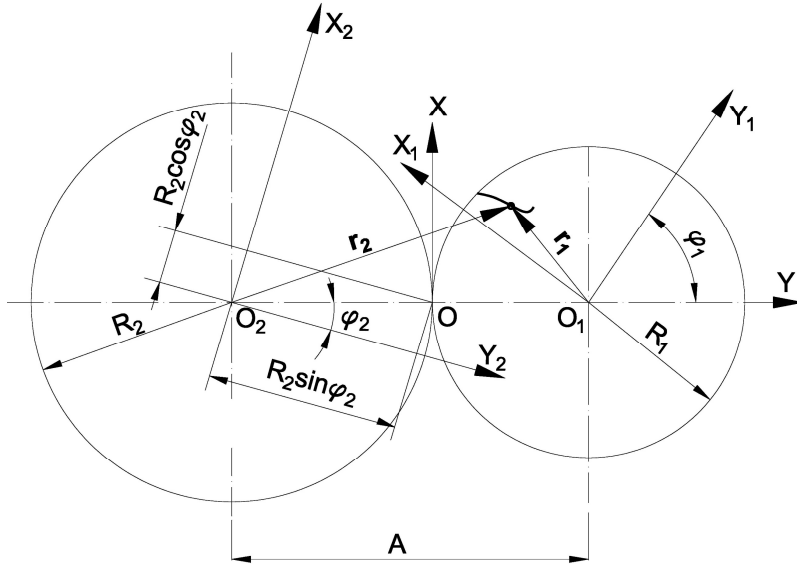
86. ábra

A fogazás idején a metszőkerék tengelyirányú, forgácsoló főmozgást végez (a vágósebesség biztosítása céljából), és ezzel egy időben állandó szögsebességgel forog a saját tengelye körül (**87. ábra**). Ahhoz, hogy a szerszámprofil létre tudja hozni a megmunkált fog evolvensprofilját, a fogazandó fogaskerék is el kell, hogy forduljon a saját tengelye körül olyan szögsebességgel, hogy a gördülőkörök kerületi sebességei egyenlőek legyenek (biztosítva ezáltal a legördülést a szerszám és a megmunkálandó darab között).



87. ábra

Jelen gyakorlatban a mátrixmódszert alkalmazzuk a szerszámprofil által burkolt fogprofil egyenleteinek a kiszámítására. Az analitikus számításokban három koordináta-rendszert használunk, melyek a következők: a szerszámhoz kötött $S_1(X_1, Y_1, Z_1)$ mozgó, a munkadarabhoz kötött $S_2(X_2, Y_2, Z_2)$ szintén mozgó és a szerszámgéphez kötött $S(X, Y, Z)$ álló koordináta-rendszer (88. ábra).



88. ábra

Az $O_1X_1Y_1Z_1$ koordináta-rendszerben ismert a fogazószerszám vágóélprofilja, amelynek vetülete a szerszám homlokmetsetében evolvens. Tegyük fel, hogy a szerszám homlokmetsete egybeesik az $X_1O_1Y_1$ síkkal (a generálgörbe síkjával), ami azt jelenti, hogy a generálgörbe egyenlete az evolvens egyenlete. Általános formában, az evolvens egyenletét az alábbi mátrix adja:

$$\underline{r}_1 = \begin{pmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x(\theta) \\ y(\theta) \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} \quad (130)$$

Ha ezt az egyenletet átírjuk az $O_2X_2Y_2Z_2$ koordináta-rendszerbe (**88. ábra**), azon görbesereg egyenletét kapjuk, amelynek burkológörbéje éppen a fogazott kerék fogprofilja. Az evolvens görbe egyenletét az $O_1X_1Y_1Z_1$ koordináta-rendszerből az $O_2X_2Y_2Z_2$ koordináta-rendszerbe közvetve írjuk át. Először átírjuk az egyenleteket az $O_1X_1Y_1Z_1$ koordináta-rendszerből az $OXYZ$ álló koordináta-rendszerbe, innen pedig $O_2X_2Y_2Z_2$ fogazandó kerékhez rögzített koordináta-rendszerbe.

Az $O_1X_1Y_1Z_1$ koordináta-rendszerből az $OXYZ$ rendszerbe az alábbi mátrix segítségével írjuk át az egyenleteket:

$$\mathbf{M}_{01} = \begin{pmatrix} \cos \varphi_1 & \sin \varphi_1 & 0 & R_1 \\ -\sin \varphi_1 & \cos \varphi_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (131)$$

Az $OXYZ$ álló koordináta-rendszerből az $O_2X_2Y_2Z_2$ rendszerbe, az alábbi mátrix segítségével írjuk át az egyenleteket:

$$\mathbf{M}_{20} = \begin{pmatrix} \cos \varphi_2 & \sin \varphi_2 & 0 & R_2 \cos \varphi_2 \\ -\sin \varphi_2 & \cos \varphi_2 & 0 & -R_2 \sin \varphi_2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (132)$$

A görbesereg helyvektora az $O_2X_2Y_2Z_2$ rendszerben az alábbi egyenlettel írható:

$$\mathbf{r}_2 = \mathbf{M}_{20} \mathbf{M}_{01} \mathbf{r}_1 = \mathbf{M}_{21} \mathbf{r}_1 \quad (133)$$

Az $\mathbf{M}_{20}$ és az $\mathbf{M}_{01}$ mátrixok összeszorozása után, elvégezve az összevonó számításokat, megkapjuk azt a mátrixot, amellyel átírhatjuk az $O_1X_1Y_1Z_1$ koordináta-rendszerben megadott egyenleteket az $O_2X_2Y_2Z_2$ rendszerbe, az alábbi formában:

$$\mathbf{M}_{21} = \begin{pmatrix} \cos(\varphi_1 + \varphi_2) & \sin(\varphi_1 + \varphi_2) & 0 & A \cos \varphi_2 \\ -\sin(\varphi_1 + \varphi_2) & \cos(\varphi_1 + \varphi_2) & 0 & -A \sin \varphi_2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (134)$$

Behelyettesítve a (134) kifejezést a (133)-ba, következik:

$$\begin{pmatrix} x_2 \\ y_2 \\ z_2 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos(\varphi_1 + \varphi_2) & \sin(\varphi_1 + \varphi_2) & 0 & A \cos \varphi_2 \\ -\sin(\varphi_1 + \varphi_2) & \cos(\varphi_1 + \varphi_2) & 0 & -A \sin \varphi_2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x(\theta) \\ y(\theta) \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} \quad (135)$$

Figyelembe véve, hogy a megmunkálás idején a szerszám és a fogazandó kerék gördülőkörain csúszásmentes legördülés van (ami azt jelenti, hogy a körök kerületi sebességei egyenlők), következik:

$$R_1 \varphi_1 = R_2 \varphi_2 \quad (136)$$

Behelyettesítve a (136) összefüggést a (135) egyenletbe, a számítások elvégzése után következik:

$$\begin{cases} x_2(\varphi_2; \theta) = x(\theta) \cos\left(\frac{A}{R_1} \varphi_2\right) + y(\theta) \sin\left(\frac{A}{R_1} \varphi_2\right) + A \cos \varphi_2 \\ y_2(\varphi_2; \theta) = -x(\theta) \sin\left(\frac{A}{R_1} \varphi_2\right) + y(\theta) \cos\left(\frac{A}{R_1} \varphi_2\right) - A \sin \varphi_2 \\ z_2(\varphi_2; \theta) = 0 \end{cases} \quad (137)$$

A (137) egyenlet annak a generáló görbeseregnek az egyenlete, amelynek burkoló görbéje a megmunkált fogprofil analitikus egyenlete.

Az eredmények szimulálása

Ha a (137) egyenletben a φ_2 értékét állandónak vesszük, és a θ -nak különböző értékeket adunk, (θ_{min} és θ_{max} között), fel tudjuk rajzolni a generálógörbét egy adott φ_2 helyzetben. Újabb értéket adva a φ_2 -nek, és az előző értékek szerint változtatva a θ -t, a generálógörbe az új φ_2 -nek megfelelő helyzetben rajzolható fel. Tovább folytatva az elvet, és a φ_2 -nek megfelelő mennyiségű értéket adva, az adott értékek számának megfelelő különböző helyzetben rajzolhatjuk

fel a generálógörbét. Ha megfelelően vannak kiválasztva a paraméterek értékei, jól látható a burkolt görbe, amely a megmunkált fogaskerék evolvens profilja kell legyen.

Az eredmények felhasználása

A (134) egyenletből analitikus úton is levezethetjük a burkológörbe egyenletét. Felhasználva a burkoló görbesereg két paramétere közti alábbi összefüggést:

$$\frac{\frac{\partial x_2}{\partial \theta}}{\frac{\partial y_2}{\partial \theta}} = \frac{\frac{\partial x_2}{\partial \varphi_2}}{\frac{\partial y_2}{\partial \varphi_2}} \quad (138)$$

Amelyben a parciális deriváltak értékeit a (137) egyenletekből kapjuk. A számítások elvégzése után kifejezzük a θ -t a φ_2 Függvényében, és az így kapott θ értéket behelyettesítjük a (134) egyenletbe. A kapott egyenlet csak a φ_2 Paramétertől függ, tehát megkaptuk a burkológörbe egyenletét az $S_2(X_2, Y_2, Z_2)$ Rendszerben, vagyis a megmunkált fogaskerékhez rögzített koordináta-rendszerben, melynek levezetését a hallgatóra bízunk.

Az eredmények értékelése

Megfigyelve a burkológörbék pályáját, ezek relatív helyzetét, valamint a burkolt görbe helyzetét és formáját, világos képet lehet alkotni a metszőkerékkel fogazott fogaskerek generálásakor lejátszódó jelenségekről.

19. GYAKORLAT

EVOLVENSZPROFIL GENERÁLÁSA SZÁMÍTÓGÉPEN

A gyakorlat célja minél alaposabban szemléltetni az evolvens típusait, az evolvensprofil generálását mint evolvenssereg burkológörbáját, illetve az egyenes fogú, hengeres fogaskerek testmodell-generálását cad-programok segítségével.

A laboratóriumi gyakorlat első része az evolvensprofil generálását mutatja be, az evolvens analitikus egyenleteinek felhasználásával, a második része a fogazószerszám élének különböző pontjai által előállított evolvenssereg generálását szemlélteti. A harmadik rész a különböző profileltolással rendelkező, egyenes fogú, hengeres fogaskerek testmodell-generálását szimulálja a fogazószerszám gép mozgásai alapján.

Számítógépes tervezési alapfogalmak

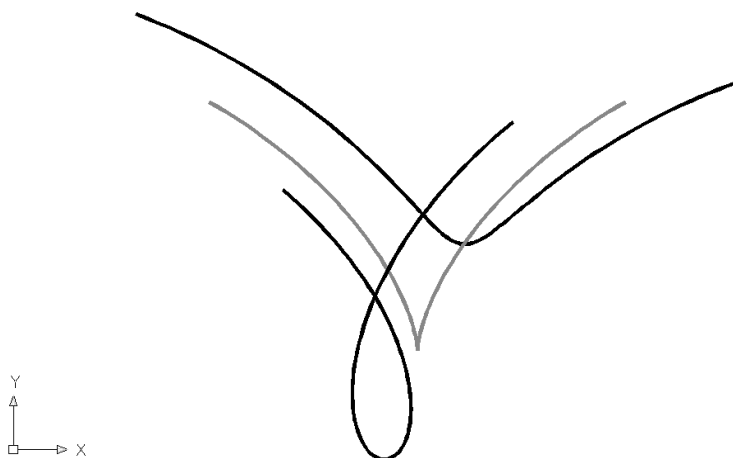
Az evolvensprofil generálása az evolvensgörbe analitikus egyenletei alapján

Az evolvensgörbe általános egyenletét a (139) összefüggés adja meg:

$$\begin{cases} y(\theta; h) = (r_a - h) \cos \theta + r_a \theta \sin \theta \\ z(\theta; h) = (r_a - h) \sin \theta - r_a \theta \cos \theta \end{cases} \quad (139)$$

Az körevolvenst és ennek nyújtott, valamint hurkolt alakját a 13. laboratóriumi gyakorlatban ismertetettek alapján a h paraméter előjele és értéke határozza meg.

A (139) egyenlet által leírt evolvensgörbéket egy AutoCAD környezetben egy AutoLISP program segítségével (evolvensok.lsp) lehet kirajzolni. A kapott görbék alakja a **89. ábrán** látható:



89. ábra

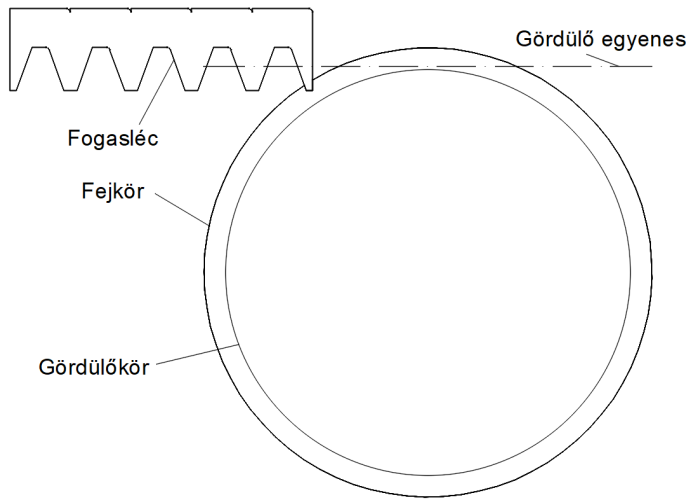
Változtatva a h paraméter előjelét, illetve értékét, különböző alakú evolvensgörbék nyerhetők.

Az AutoLISP program, futóparaméterként használva a (139) egyenletből a θ paramétert, bizonyos pontossággal kiszámolja a görbék egymás után következő pontjainak x és y koordinátáit, összekötve ezeket egy polyline-nal.

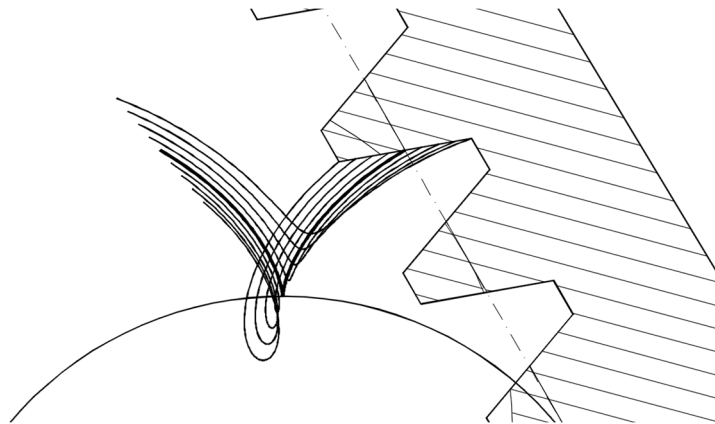
Az evolvensgörbe-profil generálása fésűkéssel

A 17. laboratóriumi gyakorlatban ismertetett evolvensgeneráló módszert a *maag.lsp* nevű AutoLISP program szimulálja.

A kezdeti rajzon a gördülőkör és a fogasléc (fésűkés) látható (**90. ábra**). A program futtatása után a fogasléc egyik élén levő pontok által leírt evolvensgörbe-család figyelhető meg, amelynek burkolója éppen a fog evolvensprofilja (**91. ábra**).



90. ábra

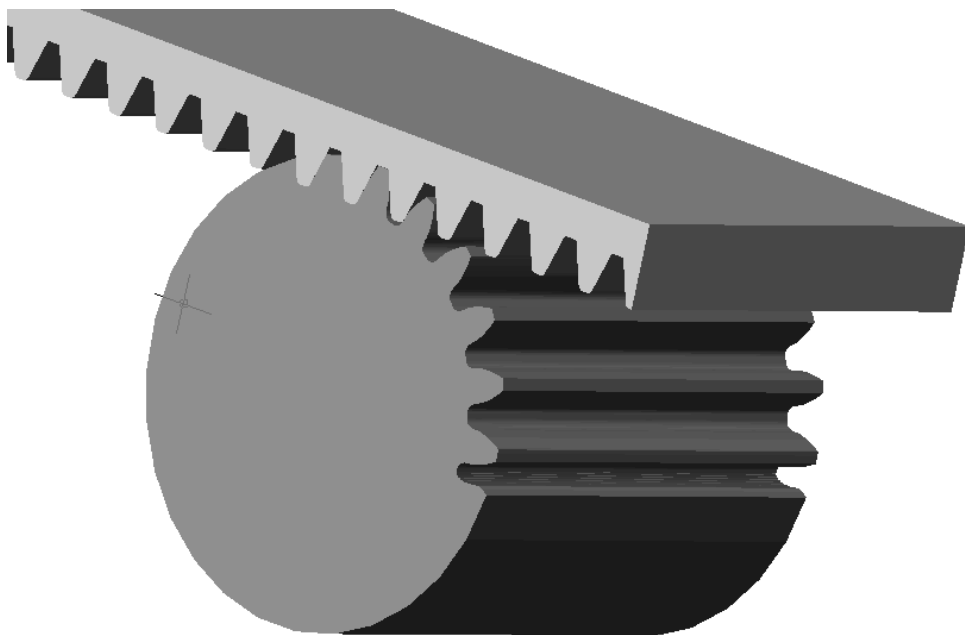


91. ábra

A generált görbesereget a fogasléc élén egyenlő távolságra található 9 pont írja le. Ha figyelembe vesszük, hogy az élen található pontok száma végtelen, akkor a görbesereg burkolója éppen a generált fogprofil.

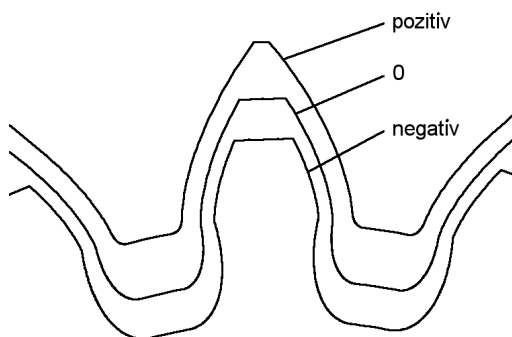
Egyenes fogú, hengeres fogaskerék testmodelljének generálása MAAG-módszerrel

Az egyetem hálózaton található harmadik programot a testmodell.lsp, Autodesk AutoCAD alatt kell futtatni. A program testmodellek sorozatos kivonásával szimulálja le mozgásban a MAAG-féle fogaskerékgyártó módszert (**92. ábra**).



92. ábra

A program futtatása során szükséges megadni a szimulálás pontosságát és a fogaskerék profileltolásának értékét. Különböző értékeket adva a profileltolásnak, ugyanolyan fogszámú és modulú kerekek esetén jól megfigyelhető a fogprofil alakulása negatív és pozitív profileltolás esetében (**93. ábra**).



93. ábra

A gyakorlat végrehajtása, az eredmények kiértékelése

A hallgatók AutoCAD program alatt futtatják az evolvensok.lsp AutoLISP programot. A h paraméternek 5 különböző negatív, 0 és 5 különböző pozitív értékeket adva, megfigyelik a generált görbék alakját. Felismerik a 3 evolvenstípust, és következtetéseket vonnak le ennek alakjáról a h paraméter függvényében.

A gyakorlat második részéhez, ugyancsak AutoCAD program alatt, futtatják a maag.lsp programot, figyelmesen követve a fésűskés éle által leírt görbék alakját a pont helyzetének függvényében és a szimulált mozgásokat síkmetszetben.

A harmadik részhez AutoCAD alatt kell futtatni a testmodell.lsp nevű AutoLISP programot. A program izometrikus nézetben szimulálja a generáláshoz szükséges mozgásokat, a fogazás befejezése után pedig a kész fogaskerék-testmodellt kell lementeni.

A hallgatók 3 negatív, 3 pozitív és egy profileltolás nélküli testmodellt állítanak elő, azonos fogszámú és modulú fogaskerekre, ezeket lementve, és utólag egy AutoCAD rajzba bemásolva őket. Megfigyelik a generált fogaskerékmodellek alakját, és következtetések vonnak le a fogprofil alakulásáról a 7 szimuláció esetében.

Alaposan megfigyelve az elméleti, valamint a gyakorlati generálás elvén alapuló szimulálásokat, tanulmányozni lehet a fogazás folyamatát és a profileltolás eredményeit egyenes fogú, hengeres fogaskerek esetében.

SZAKIRODALOM

1. Bakondi K., Kardos A.: *A gépgyártás technológiája: Forgácsolás*. Tankönyvkiadó, Budapest, 1963.
2. Bali J.: *Forgácsolás*. Tankönyvkiadó, Budapest, 1988.
3. Deacu L., Giurghiu H.: *Bazele aşchierii şi generării suprafeţelor*. Reprografia Institutului Politehnic, Cluj-Napoca, 1980.
4. Diţu V.: *Bazele generării suprafeţelor şi scule aşchietoare*. Editura Universităţii "Transilvania" din Braşov, 1999.
5. Hollanda D., Mehedinţeanu M., Țăru E., Oancea N.: *Aşchiere şi scule aşchietoare*. Editura Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1982.
6. Hollanda D.: *Aşchiere şi scule aşchietoare*. Reprografia Institutului de Învăţământ Superior, Tg. Mureş, 1982.
7. Hollanda D.: *Bazele aşchierii şi generării suprafeţelor. Vol. I*, Reprografia Universităţii "Petru Maior", Tg. Mureş, 1993.
8. Hollanda D.: *Bazele aşchierii şi generării suprafeţelor. Vol. II*, Reprografia Universităţii "Petru Maior", Tg. Mureş, 1996.
9. Hollanda D.: *Die rechnerische Erfassung von Kugelevolventen-Kegelradern*. TZ für praktische Metallbearbeitung, 69. Jahr, Heft 7, 1975.
10. Hollanda D., Máté M.: *Aşchiere şi scule*. Editura Universităţii „Petru Maior” Tg. Mureş, 2004.
11. Hollanda D.: *A forgácsolás alapjai*. Editura Scientia Cluj-Napoca, 2008.
12. Minciu C., Predinţeanu N.: *Bazele aşchierii şi generării suprafeţelor*. Centrul de multiplicare cursuri Institutul politehnic, Bucureşti, 1992.
13. Oprean A., et al.: *Bazele aşchierii şi generării suprafeţelor*. Editura Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1981.
14. Pálmai Z.: *Fémek forgácsolhatósága*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1980.
15. Stephenson D. A., Agapiou J. S.: *Metal Cutting Theory and Practice*. Third Edition. CRC Press, 2018.
16. B. L. Juneja: *Fundamentals of Metal Cutting and Machine Tools*. Second Edition. New Age International Publishers, 2003.

THEORY OF METAL CUTTING AND SURFACES GENERATED ON MACHINE TOOLS

Summary

This book presents knowledge relating to metal cutting and surfaces generation theory on machine-tools. It is primarily aimed at the engineering-oriented reader, who can expand their knowledge with appropriate theoretical basics and practical implementations.

In terms of the structure the book contains 19 laboratory exercises, which support the disciplines “Fundamentals of Metal Cutting” and “Surface Generation Theory on Machine Tools” taught to students majoring in Mechanical Engineering and Mechatronics at the Faculty of Technical and Human Sciences of the Sapiientia University.

The first part of the book - which includes the first seven lab exercises - lays the basic foundation, then expands on the knowledge of metal cutting.

The first two lab exercises present conventional machine tools such as lathe, column type drilling machine, planer, milling machine, round- and plane grinding machine. For each machine tool, the movements of the machine tool (main and secondary movements) and the machinable surfaces are detailed. The third lab exercise presents the tool geometry that can be identified on a turning cutter.

The next four lab exercises study the cutting forces, the specific cutting force, the temperature of the cutting edge, and the machinability of materials.

Each laboratory exercise starts by presenting basic theoretical concepts before moving on to the implementation of the measurement exercise.

The second part of the book presents the surface generation theory on machine tools, writing the analytical equations for surfaces generated on different machine tools.

The eighth and ninth exercises describe the generator and directory curves. The tenth lab exercise describes the surfaces generated on the shaping machine. The following three lab exercises describe the generation of revolution surfaces, threads and module threads on lathes. Lab exercise 13 deals with surfaces

generated on the universal milling machine. The following two lab exercises describe relief-turning and give a comprehensive picture of radial, oblique and axial relieving, as well as helical relief-turning.

Lab exercises 17 and 18 deal with the generation of cylindrical gears, among which the generation with the rack cutter and gear shaper is presented. The last lab exercise presents the generation of the involute profile on the computer, which also includes the creation of a 3D solid model of a cylindrical gear.

CONTENTS

FOREWORD	7
EXERCISE 1. Machining On Lathe, Column Type Drilling Machine and Planer Machine	9
EXERCISE 2. Machining On Tool Milling Machine, Round- and Plane Grinding Machine	18
EXERCISE 3. Single-Point Cutting Tool Geometry. The Tool Defining Reference Systems	28
EXERCISE 4. Cutting Force by Turning	36
EXERCISE 5. The Specific Cutting Force	44
EXERCISE 6. The Temperature of the Cutting Edge	51
EXERCISE 7. Machinability of Materials	60
EXERCISE 8. The Study of the Generating Curves	68
EXERCISE 9. The Study of the Directory Curves	73
EXERCISE 10. Generating Surfaces on Shaping Machine	83
EXERCISE 11. Generating Revolution Surfaces on Lathe	89
EXERCISE 12. Generating Threads on Lathe	96

EXERCISE 13.	
Generating Module Threads on Lathe.....	104
EXERCISE 14.	
Generating Surfaces on Milling Machine.....	117
EXERCISE 15.	
Generating Surfaces by relieving (Part I).....	124
EXERCISE 16.	
Generating Surfaces by relieving (Part II)	136
EXERCISE 17.	
Generating the Involute Profile with Rack Cutter	140
EXERCISE 18.	
Generating the Involute Profile with Gear Shaper Cutter.....	147
EXERCISE 19.	
Generating the Involute Profile On PC	153
BIBLIOGRAPHY	158
THEORY OF METAL CUTTING AND SURFACES GENERATED ON	
MACHINE TOOLS (Summary)	159
Contents.....	161
THEORIE DER METALLZERSPANUNG UND DER AUF WERKZEUG-	
MASCHINEN ERZEUGTEN OBERFLÄCHEN (Zusammenfassung)	163
Inhalt.....	165
AȘCHIEREA ȘI TEORIA SUPRAFETELOR GENERATE PE	
MAȘINI UNELTE (Rezumat)	167
Cuprins.....	169

THEORIE DER METALLZERSPANUNG UND DER AUF WERKZEUGMASCHINEN ERZEUGTEN OBERFLÄCHEN

Zusammenfassung

Dieses Buch vermittelt Kenntnisse über die Metallzerspanung und die Oberflächenerzeugungstheorie an Werkzeugmaschinen. Es richtet sich in erster Linie an den ingenieurwissenschaftlich orientierten Leser, der sein Wissen durch entsprechende theoretische Grundlagen und praktische Umsetzungen erweitern kann.

Im Aufbau des Buches sind 19 Laborübungen enthalten, die die Lehrveranstaltungen „Grundlagen der Metallzerspanung“ und „Oberflächengenerationstheorie an Werkzeugmaschinen“ für Studierende der Fachrichtungen Maschinenbau und Mechatronik an der Fakultät für Technik und Humanwissenschaften unterstützen Wissenschaften der Sapientia-Universität.

Der erste Teil des Buches, der die ersten sieben Laborübungen umfasst, vermittelt die Grundlagen und erweitert anschließend das Wissen über die Metallzerspanung.

In den ersten beiden Laborübungen werden herkömmliche Werkzeugmaschinen wie Drehmaschine, Ständerbohrmaschine, Hobelmaschine, Fräsmaschine, Rund- und Planschleifmaschine vorgestellt. Für jede Werkzeugmaschine werden die Bewegungen der Werkzeugmaschine (Haupt- und Nebenbewegungen) und die bearbeitbaren Oberflächen detailliert aufgeführt. In der dritten Laborübung wird die Werkzeuggeometrie vorgestellt, die an einem Drehmeißel erkennbar ist.

In den nächsten vier Laborübungen werden die Schnittkräfte, die spezifische Schnittkraft, die Temperatur der Schneidkante und die Bearbeitbarkeit von Materialien untersucht.

Jede Laborübung beginnt mit der Präsentation grundlegender theoretischer Konzepte und anschließend mit der Umsetzung der Messübung.

Der zweite Teil des Buches stellt die Theorie der Oberflächenerzeugung auf Werkzeugmaschinen vor und schreibt die analytischen Gleichungen für Oberflächen, die auf verschiedenen Werkzeugmaschinen erzeugt wurden.

Die achte und neunte Übung beschreibt die Generator- und Leiterkurven. In der zehnten Laborübung werden die auf der Hobelmaschine erzeugten Oberflächen beschrieben. Die folgenden drei Laborübungen beschreiben die Erzeugung von Drehflächen, Gewinden und Modulgewinden auf Drehmaschinen. In der Laborübung 13 geht es um die auf der Universalfräsmaschine erzeugten Flächen. Die folgenden zwei Laborübungen beschreiben das Hinterdrehen und vermitteln einen umfassenden Überblick über das radiale, schräge und axiale Hinterdrehen sowie das Strömige Hinterdrehen.

In den Laborübungen 17 und 18 geht es um die Erzeugung von Stirnrädern, wobei die Erzeugung mit dem Hobelkammr und der Stosssrad vorgestellt wird. In der letzten Laborübung wird die Erstellung des Evolventenprofils am Computer vorgestellt, wozu auch die Erstellung eines 3D-modells eines Stirnrads gehört.

INHALT

VORWORT	7
ÜBUNG 1. Schneiden auf Drehmaschinen, Ständerbohrmaschinen und Hobelmaschinen	9
ÜBUNG 2. Schneiden auf Werkzeugfräsmaschinen, Rund- und Planschleifmaschinene	18
ÜBUNG 3. Geometrie des Einpunkt-Schneidwerkzeugs. Die Werkzeugdefinierende Koordinatennzsysteme	28
ÜBUNG 4. Zerspankraft beim Drehen	36
ÜBUNG 5. Die spezifische Schnittkraft	44
ÜBUNG 6. Die Temperatur der Schneidkante	51
ÜBUNG 7. Zerspanbarkeit von Materialien	60
ÜBUNG 8. Das Studium der erzeugenden Kurven	68
ÜBUNG 9. Das Studium der Leiterkurven	73
ÜBUNG 10. Erzeugen von Flächen auf einer Hobelmaschine	83
ÜBUNG 11. Erzeugen von Drehflächen auf einer Drehmaschine	89
ÜBUNG 12. Erzeugen Schraubengewinde auf einer Drehmaschine	96

ÜBUNG 13.	
Erzeugen modularer Gewinde auf einer Drehmaschine	104
ÜBUNG 14.	
Erzeugen von Flächen auf einer Fräsmaschine.....	117
ÜBUNG 15.	
Flächen erzeugen durch Hinterdrehen (Teil I).....	124
ÜBUNG 16.	
Flächen erzeugen durch Hinterdrehen (Teil II)	136
ÜBUNG 17.	
Erzeugen des Evolventenprofils mit HobelKamm	140
ÜBUNG 18.	
Erzeugen des Evolventenprofils mit Stossrad	147
ÜBUNG 19.	
Erstellen des Evolventenprofils am PC	153
LITERATUR	158
THEORY OF METAL CUTTING AND SURFACES GENERATED ON MACHINE TOOLS (Summary)	159
Contents.....	161
THEORIE DER METALLZERSPANUNG UND DER AUF WERKZEUG- MASCHINEN ERZEUGTEN OBERFLÄCHEN (Zusammenfassung)	163
Inhalt.....	165
AȘCHIEREA ȘI TEORIA SUPRAFETELOR GENERATE PE MAȘINI UNELTE (Rezumat)	167
Cuprins.....	169

AȘCHIEREA ȘI TEORIA SUPRAFETELOR GENERATE PE MAȘINI UNELTE

Rezumat

Cartea ținută în mână de cititor prezintă cunoștințe despre așchiere și teoria generării suprafețelor implementate pe diverse mașini-unelte. Se adresează în primul rând cititorului orientat spre inginerie, care își poate fundamenta și extinde cunoștințele teoretice de bază însoțite de implementări practice.

Din punct de vedere al structurii cărții, aceasta conține 19 exerciții de laborator, care susțin disciplinele „Bazele așchierii” și ”Teoria generării suprafețelor pe mașini-unelte” predate studenților de la programele de studiu Tehnologia Construcțiilor de Mașini și Mecatronică de la Facultatea de Științe Tehnice și Umaniste din Tg. Mureș a Universității Sapiientia.

Prima parte a cărții, care include șapte lucrări de laborator, fundamentează și extinde cunoștințele despre așchiere. Primele două exerciții de laborator prezintă mașini-unelte tradiționale: strunguri, mașini de găurit cu coloană, mașina de rabotat, mașina de frezat, mașinile de rectificat rotund- și plan. Pentru fiecare mașină-unelte sunt detaliate mișcărilor principale și secundare și tipurile de suprafețe prelucrabile. Al treilea exercițiu de laborator prezintă geometria cuțitului de strung.

Următoarele patru lucrări de laborator studiază forța de așchiere, forța specifică de așchiere, temperatura tăișului și prelucrabilitatea materialelor. Fiecare lucrare de laborator prezintă la început concepte teoretice de bază după care trece la desfășurarea practică a lucrării.

A doua parte a cărții exemplifică teoria generării suprafețelor pe diverse mașini-unelte. Lucrările nr. 8 și 9 prezintă curbele generatoare și directoare. A zecea lucrare discută teoretic suprafețele generate pe raboteză.

Următoarele trei lucrări de laborator prezintă generarea suprafețelor de revoluție, a filetelor și a filetelor modul pe strunguri.

Lucrarea 13 tratează suprafețele generate pe o mașină de frezat universală. Următoarele două lucrări de laborator tratează teoria suprafețelor realizate prin detalonare radială, oblică, axială și după elice.

Lucrările 17 și 18 prezintă generarea angrenajelor cilindrice, cu cuțit pieptene și cuțit roată.

Ultima lucrare de laborator prezintă generarea profilului de evolventă pe calculator, lucrare care include și generarea unui model solid de roată dințată.

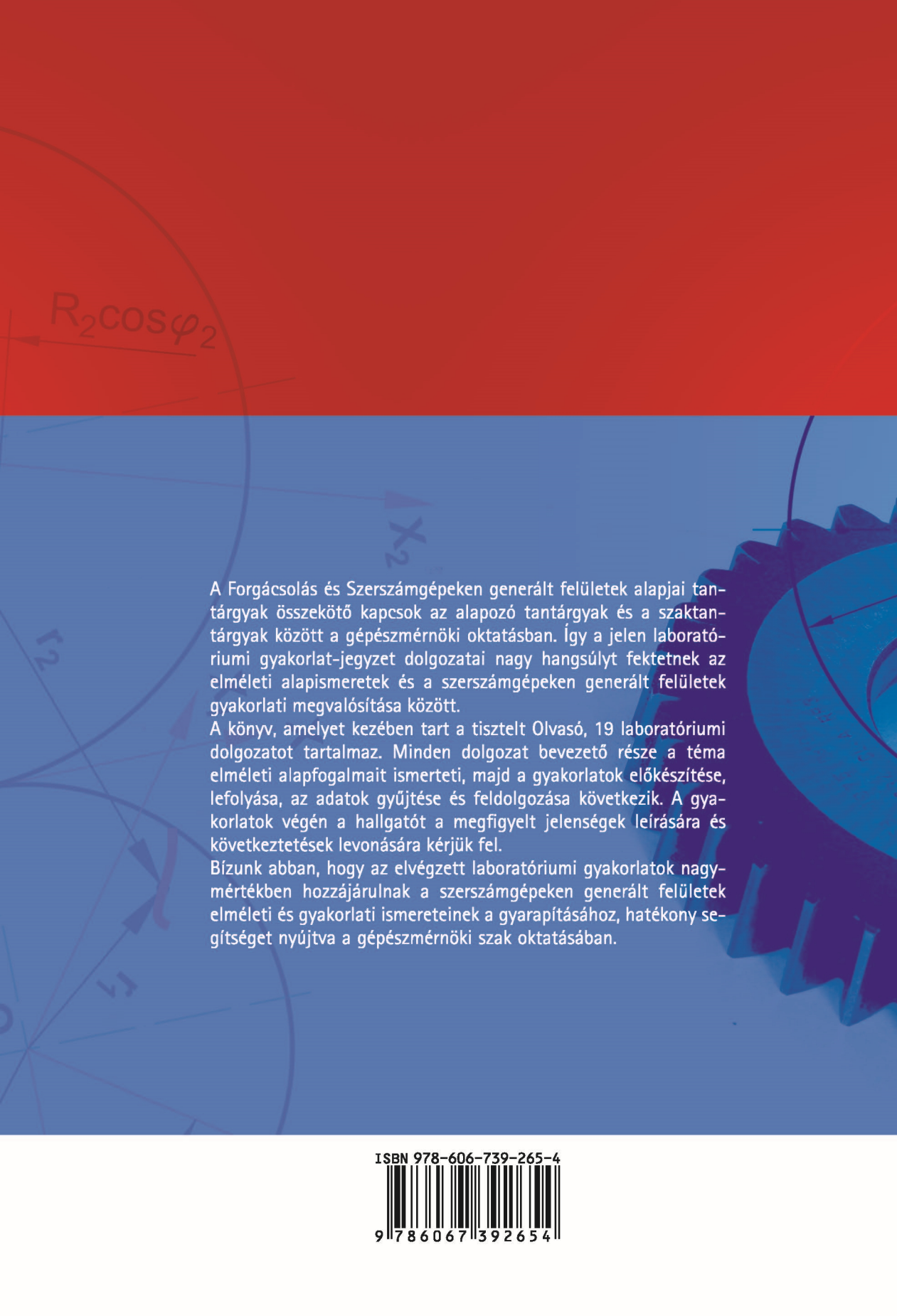
CUPRINS

PREFAȚĂ.....	7
LUCRAREA 1.	
Așchiera pe strung normal, mașină de găurit cu coloană și raboteză.....	9
LUCRAREA 2.	
Așchiera pe mașina de frezat de sculărie, mașina de rectificat rotund și plan	18
LUCRAREA 3.	
Geometria sculei de așchiere cu un singur tăiș. Sistemele de referință ata- șate sculei	28
LUCRAREA 4.	
Forța de așchiere la strunjire	36
LUCRAREA 5.	
Forța specifică de așchiere	44
LUCRAREA 6.	
Temperatura medie a tăișului.....	51
LUCRAREA 7.	
Prelucrabilitatea prin așchiere	60
LUCRAREA 8.	
Studiul curbelor generatoare.....	68
LUCRAREA 9.	
Studiul curbelor directe.....	73
LUCRAREA 10.	
Generarea suprafețelor pe mașina de rabotat.....	83
LUCRAREA 11.	
Generarea suprafețelor de revoluție pe strung.....	89
LUCRAREA 12.	
Generarea filetelor pe strung.....	96

LUCRAREA 13.	
Generarea filetelor modul pe strung	104
LUCRAREA 14.	
Generarea suprafețelor pe mașina de frezat	117
LUCRAREA 15.	
Generarea suprafețelor prin detalonare (Partea I-a)	124
LUCRAREA 16.	
Generarea suprafețelor prin detalonare (Partea II-a)	136
LUCRAREA 17.	
Generarea profilului de evolventă cu cuțit pieptene.....	140
LUCRAREA 18.	
Generarea profilului de evolventă cu cuțit roată	147
LUCRAREA 19.	
Generarea profilului de evolventă pe calculator.....	153
BIBLIOGRAFIE	158
THEORY OF METAL CUTTING AND SURFACES GENERATED ON MACHINE TOOLS (Summary)	159
Contents.....	161
THEORIE DER METALLZERSPANUNG UND DER AUF WERKZEUG- MASCHINEN ERZEUGTEN OBERFLÄCHEN (Zusammenfassung)	163
Inhalt.....	165
AȘCHIEREA ȘI TEORIA SUPRAFETELOR GENERATE PE MAȘINI UNELTE (Rezumat)	167
Cuprins.....	169

A SOROZAT EDDIG MEGJELENT KÖTETEI

1. Jodál Endre: *Számítástechnika az ezredforduló küszöbén*. 1992.
2. Pálfalvi Attila: *Porkohászat*. 1993.
3. Bagyinszki Gyula – Bitay Enikő: *Bevezetés az anyagtechnológiák informatikájába*. 2007.
4. Bitay Enikő: *Lézeres felületkezelés és modellezés*. 2007.
5. Bagyinszki Gyula – Bitay Enikő: *Felületkezelés*. 2009.
6. Forgó Zoltán: *Bevezetés a mechatronikába*. 2009.
7. Tolvaly-Roşca Ferenc: *A számítógépes tervezés alapjai. AutoLisp és Autodesk Inventor alapismeretek*. 2009.
8. Bagyinszki Gyula – Bitay Enikő: *Hegesztéstechnika I. Eljárások és gépesítés*. 2010.
9. Bagyinszki Gyula – Bitay Enikő: *Hegesztéstechnika II. Berendezések és mérések*. 2010.
10. Máté Márton: *Műszaki mechanika – kinematika*. 2010.
11. Bitay Enikő: *Anyagtudományi laboratórium I. Tulajdonságminősítő vizsgálatok*. 2011.
12. Máté Márton: *Hengeres fogaskerekek gyártószerszámai*. 2016.
13. Tolvaly-Roşca Ferenc: *Gépelemek*. 2019.
14. Papp István: *Mechanizmusok optimális kiegyensúlyozásának elmélete*. 2020.
15. Harangus Katalin – Kakucs András: *Valószínűségszámítás és statisztika a mérnöki gyakorlatban*. 2021.
16. Bitay Enikő: *Hegesztési alapismeretek*. 2021.
17. Bitay Enikő – Végvári Ferenc: *Hőkezelési laboratórium*. 2022.
18. Gergely Attila Levente: *Polimer anyagok anyagtudományi és feldolgozótechnikai laboratóriuma*. 2022.
19. Popa-Müller Izolda – Hegedűs-Kuti János: *A műszaki ábrázolás alapjai*. 2023.

The background of the page features a technical drawing in a light blue color on a dark blue background. It includes two interlocking gears on the right side. On the left, there are several force vectors represented by arrows. One vector is labeled $R_2 \cos \varphi_2$ and points to the left. Another vector is labeled X_2 and points upwards. There are also curved arrows indicating rotation, with labels like ω_1 and ω_2 visible. The overall theme is mechanical engineering or physics.

A Forgácsolás és Szerszámgépeken generált felületek alapjai tantárgyak összekötő kapcsok az alapozó tantárgyak és a szaktantárgyak között a gépészmérnöki oktatásban. Így a jelen laboratóriumi gyakorlat-jegyzet dolgozatai nagy hangsúlyt fektetnek az elméleti alapismeretek és a szerszámgépeken generált felületek gyakorlati megvalósítása között.

A könyv, amelyet kezében tart a tisztelt Olvasó, 19 laboratóriumi dolgozatot tartalmaz. Minden dolgozat bevezető része a téma elméleti alapfogalmait ismerteti, majd a gyakorlatok előkészítése, lefolyása, az adatok gyűjtése és feldolgozása következik. A gyakorlatok végén a hallgatót a megfigyelt jelenségek leírására és következtetések levonására kérjük fel.

Bízunk abban, hogy az elvégzett laboratóriumi gyakorlatok nagymértékben hozzájárulnak a szerszámgépeken generált felületek elméleti és gyakorlati ismereteinek a gyarapításához, hatékony segítséget nyújtva a gépészmérnöki szak oktatásában.

ISBN 978-606-739-265-4

