

A TÁRCSAMARÓK GEOMETRIAI ÉS ÉLEZÉSI JELLEMZŐINEK VIZSGÁLATA A VEZÉRTÁRCSA ÉS A HÁTRAMUNKÁLÁSI GÖRBÉK ALAPJÁN

INVESTIGATION OF THE GEOMETRICAL AND SHARPENING CHARACTERISTICS OF DISC MILLING CUTTERS BASED ON THE CONTROL CAM AND RELIEF GRINDING CURVES

Dr. Bodzás Sándor*, Dr. Szanyi Gyöngyi**

ABSZTRAKT

A tárcsamarók forgácsolási teljesítményét és élettartamát jelentős mértékben befolyásolják a szerszám geometriai és élezési jellemzői. E paraméterek alakulásában meghatározó szerepet játszik a hátramunkálási folyamat, amelyet a vezértárcsa geometriája határoz meg. A tanulmány áttekinti a tárcsamarók geometriai sajátosságait, valamint a vezértárcsa és a kialakuló hátramunkálási görbék közötti kapcsolatot. Bemutatja azokat a főbb problémaköröket és kutatási kérdéseket, amelyek a szerszámprofil, a hátszögviszonyok és az utánélezhetőség vizsgálata során felmerülnek. A munka célja a további geometriai modellezési és elemzési vizsgálatok megalapozása.

ABSTRACT

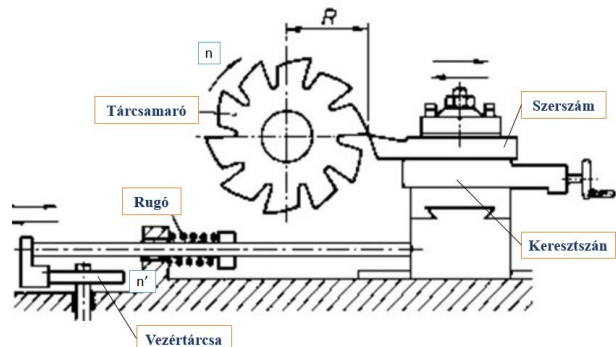
The cutting performance and service life of disc milling cutters are significantly influenced by their geometric and sharpening characteristics. The development of these parameters is largely determined by the relief grinding process, which is governed by the geometry of the control cam. This paper provides an overview of the geometric features of disc milling cutters and examines the relationship between the control cam and the resulting relief curves. The main issues and research questions related to tool profile geometry, clearance angle characteristics, and re-sharpening capability are discussed. The aim of the study is to establish a foundation for further geometric modeling and analytical investigations.

1. BEVEZETÉS

A forgácsolószerszámok geometriai kialakítása alapvetően meghatározza a megmunkálási folyamat hatékonyságát, a munkadarab minőségét, valamint a szerszám élettartamát. A profilozott tárcsamarók a gépipari gyakorlatban széles körben alkalmazott szerszámok, amelyekkel összetett alakú felületek és

profilok nagy pontosságú megmunkálása valósítható meg. Az ilyen szerszámok esetében különösen fontos követelmény, hogy az élezési műveletek során a forgácsolóél geometriája és a kialakított profil a lehető legnagyobb mértékben megőrizhető legyen [1, 5, 8].

A tárcsamarók gyártása során a megfelelő hátszög kialakítása rendszerint hátramunkálással történik, amelynek kinematikáját hagyományosan vezértárcsás mechanizmus biztosítja. A vezértárcsa geometriai kialakítása közvetlenül meghatározza a szerszám felületén létrejövő hátramunkálási görbét, ezáltal pedig jelentős hatást gyakorol a forgácsolóél környezetében kialakuló geometriai viszonyokra. A hátramunkálási görbe alakja nemcsak a szerszám működési jellemzőit befolyásolja, hanem az utánélezések során bekövetkező geometriai változások mértékét is (1. ábra) [1, 5, 6, 8].



1. ábra. A hátraesztérgálás folyamata

A korszerű forgácsolástechnikai követelmények egyre nagyobb hangsúlyt helyeznek a szerszámgeometria pontos ismeretére és előzetes modellezésére.

Különösen fontos annak feltárása, hogy a különböző hátramunkálási görbék milyen mértékben befolyásolják a hátszög alakulását, a profilpontosság megőrzését, valamint a szerszám utánélezhetőségét.

Jelen tanulmány célja a tárcsamarók geometriai és élezési jellemzőinek áttekintése a vezértárcsa és a

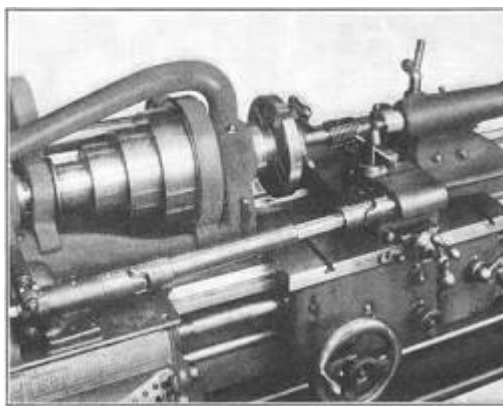
* egyetemi docens, Debreceni Egyetem, Gépészmérnöki Tanszék

** egyetemi adjunktus, Debreceni Egyetem, Műszaki Alaptárgyi Tanszék

hátramunkálási görbék kapcsolatának vizsgálatán keresztül.

2. A HÁTRAESZTERGÁLÁS TECHNIKATÖRTÉNETE

A hátraesztergálás kialakulása szorosan összefügg a profilozott forgácsolószerszámok ipari alkalmazásának elterjedésével a XIX. század második felében. A marógépek és a tárcsamarók fejlődése során egyre nagyobb igény jelentkezett olyan szerszámgeometriák kialakítására, amelyek ismételt élezés esetén is képesek megőrizni eredeti profiljukat. Ebben jelentős szerepet játszott Joseph R. Brown munkássága [9, 10], aki az 1860-as években olyan marószerszám-geometriákat dolgozott ki, amelyek lehetővé tették a többszöri utánélezést a forgácsolóképeség jelentős romlása nélkül. A korszerű marószerszámok fejlődése az 1870-es évekre már nemzetközi szinten is ismertté vált.



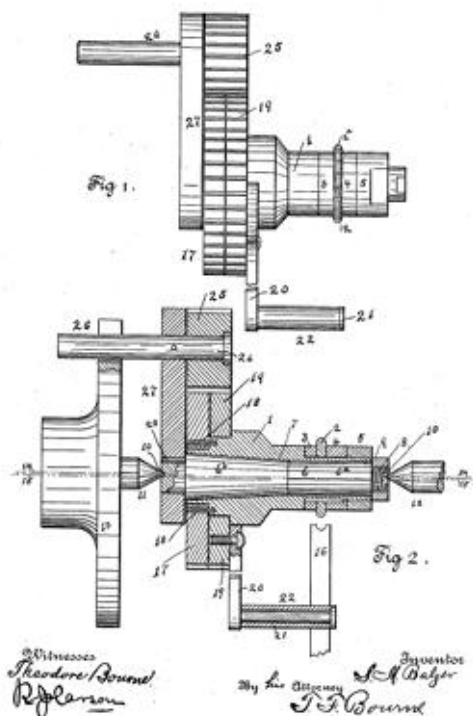
2. ábra. A világ első hátraeszterga gépe (Julius Edward Reinecker, 1872) [2]

Amikor Reinecker 1872-ben megalkotta a gépét [2], az egy különálló, méregdrága, dedikált szerszámgép volt. Ha egy gyár hátraesztergált marókat akart készíteni, meg kellett vennie a komplett Reinecker-féle hátraesztergát, ami csak és kizárólag erre a feladatra volt jó, és hatalmas helyet foglalt (2. ábra).

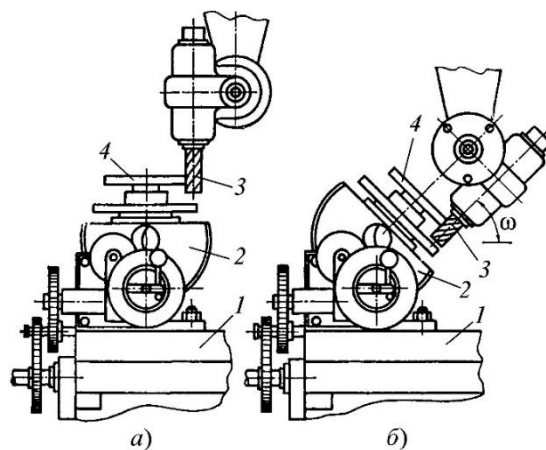
A hátramunkált szerszámok gyártására szolgáló speciális szerkezetek a XIX. század végén és a XX. század elején jelentek meg. Ebből az időszakból ismert Stephen M. Balzer neve, akinek hátramunkáló berendezését a szakirodalom már 1895-ban ismertette (3. ábra) [3]. Az ilyen mechanikus szerkezetek vezértárcsák, excenterek és racsnis mechanizmusok segítségével hozták létre a szükséges radiális mozgást a szerszám fogai mögött kialakítandó hátszög biztosítására.

A XX. század elején a hátraesztergálás elmélete és gyakorlata tovább fejlődött, és a profilozott forgácsolószerszámok gyártásában egyre nagyobb jelentőséget kapott a kinematikailag vezérelt hátramunkálás. A korszak szakirodalmában olyan eszterga-kiegészítések és vezértárcsa vezérlésű megoldások jelentek meg, amelyek Archimédeszi spirálhoz közelítő hátramunkálási pályát hoztak létre [4],

elsősorban csigamarók és egyéb profilozott szerszámok gyártásának támogatására (4. ábra). Ebben az időszakban vált általánosan elfogadottá az a felismerés, hogy a hátramunkálási görbe megfelelő geometriai kialakítása alapvető feltétele a profilpontosság megőrzésének és az ismételt utánélezhetőség biztosításának.



3. ábra. Balzer-féle hátramunkáló szerkezet nézeti és metszeti rajza (1895) [3]



4. ábra. Vezértárcsás hátramunkáló mechanizmus kinematikai vázlata (kb. 1905–1930) [4]

A speciális hátraesztergagépek fejlesztésében meghatározó szerepet játszott a németországi J. E. Reinecker vállalat, amelyet 1859-ben alapítottak Chemnitzben. A vállalat a XX. század közepére a szerszámgyártó gépek egyik vezető fejlesztőjévé vált, és 1949-től kezdődően hátraeszterga- és szerszámköszörű gépek gyártásával is foglalkozott.

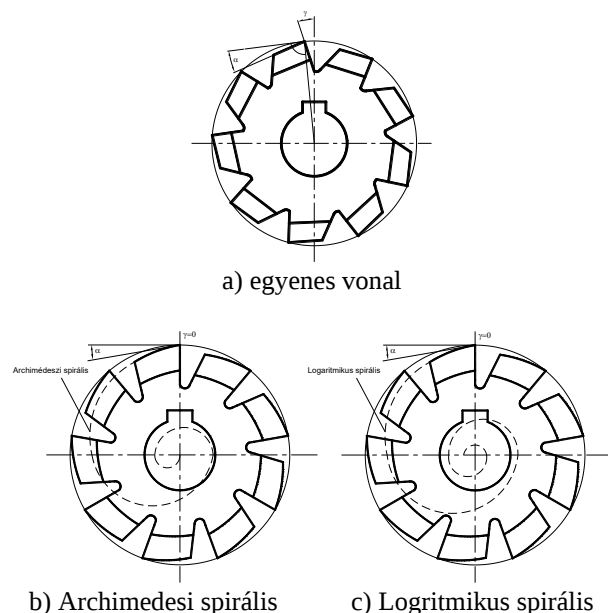
Napjainkban a hagyományos vezértárcsás hátraesztergálást egyre gyakrabban váltják fel CNC-vezérlésű szerszámköszörű és profilgeneráló rendszerek, ugyanakkor a hátramunkálási görbék geometriai leírása, valamint azok hatásának vizsgálata a szerszámprofilra és az utánélezhetőségre továbbra is aktuális kutatási terület.

3. A TÁRCSAMARÓK GEOMETRIAI SAJÁTOSSÁGAI

A tárcsamarók a forgácsoló szerszámok azon csoportjába tartoznak, amelyek forgómozgás révén végzik az anyagleválasztást [1, 5, 8].

Geometriai kialakításuk jelentős hatással van a forgácsolási folyamatra, a szerszám éltartamára, valamint a megmunkált felület minőségére [1, 5, 8].

A tárcsamarók fogainak alakját és elrendezését úgy alakítják ki, hogy a forgácsképződés kedvező feltételek mellett menjen végbe, miközben biztosított legyen a megfelelő szilárdság és a gazdaságos újraélezhetőség (5. ábra).

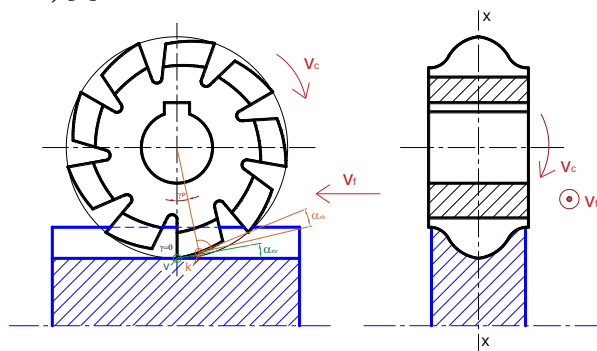


5. ábra. Marófajták különböző hátraesztergálási módon

A hátraesztergált szerszámok vágóélét a sík homlokszög és az alakos hátfelület metszésvonala határozza meg. Mivel a megmunkálandó profil és a homlokszögben megjelenő szerszámprofil teljes mértékben megegyezik, a homlokszöget (γ_x) általában nulla értékre alakítják ki (6. ábra) [5].

A profilállandóság biztosítása olyan hátraesztergált hátfelület kialakításával érhető el, amely mellett a hátszög értéke az ismételt élezések során sem változik. Ennek feltétele, hogy a vágóél α_{xk} hátszöge a k pontig történő leköszörülés után is megegyezzen a szerszámcúcon érvényes α_{xv} hátszöggel. Ezt a követelményt a logaritmikus spirális alakú hátfelület teljesíti, amely biztosítja a hátszög állandóságát és ezáltal

a szerszámprofil megőrzését az élezési ciklusok során (6. ábra) [5].



6. ábra. Az α_{xv} és α_{xk} hátszögmértékek hátraesztergált maró első- és utolsó élezésekor

Az archimédieszi spirális hátraesztergálási görbe alkalmazása esetén a hátszög változása viszonylag csekély mértékű, ezért a gyakorlatban a tárcsamarókat többnyire ilyen görbe alapján munkálják hátra. A logaritmikus spirális kialakítást rendszerint csak olyan speciális esetekben alkalmazzák, amikor a hátszög teljes állandóságának biztosítása kiemelt követelmény. Az Archimédieszi-spirális széles körű elterjedését elsősorban az indokolja, hogy az ehhez tartozó vezértárcsa gyártása és alkalmazása technológiai szempontból egyszerűbb és gazdaságosabb megoldást jelent [5].

A H hátraesztergálás mértékének közelítő képlete logaritmikus és archimédieszi spirális esetén [5, 11]

$$H = \frac{D \cdot \pi}{z} \cdot \tan \alpha_x \quad (1)$$

ahol:

H – a hátraesztergálás mértéke [mm],

D – a maró névleges külső átmérője [mm],

z – a maró fogszáma,

α_x – maró hátszög [$^\circ$]

A homlokszög (γ) befolyásolja a forgács leválasztásának módját és a forgácsoló erők nagyságát, míg a hátszög (α) biztosítja, hogy a szerszám hátfelülete ne érintkezzen káros mértékben a megmunkált felülettel. Az ékszög (β) a vágóél mechanikai szilárdságának egyik meghatározó paramétere [1, 5, 8].

A hátraesztergált marófog hátfelületének geometriai kialakítására elméletileg logaritmikus, a gyakorlatban pedig gyakran archimédieszi spirált alkalmaznak. A két görbe közötti alapvető különbség a sugár és az elfordulási szög kapcsolatában jelentkezik. A logaritmikus spirál polárkoordinátás egyenlete [11, 12, 13, 14]:

$$r(\varphi) = r_0 \cdot e^{-k\varphi} \quad (2)$$

ahol:

$r(\varphi)$ – az aktuális sugár [mm],

r_0 – a kiindulási sugár [mm],

φ – az elfordulási szög [$^\circ$],

k – a logaritmikus spirál paramétere.
A spirál paramétere és a hátszög kapcsolata:

$$k = \tan \alpha_x \quad (3)$$

Az archimédeszi spirál hátraesztérgálási mérete [11, 12, 13, 14]

$$r(\varphi) = r_0 - c \cdot \varphi \quad (4)$$

ahol c az egységnyi szögelfordulásra jutó radiális méretváltozás. A kiindulási pontban:

$$c = r_0 \cdot \tan \alpha_x \quad (5)$$

Az archimédeszi spirálnál az adott pontbeli hátszög változik:

$$\tan \alpha(\varphi) = \frac{c}{r_0 - c \cdot \varphi} \quad (6)$$

A két spirál matematikailag természetesen nem azonos, de a megfelelő feltételek mellett a logaritmikus spirál egzakt hátraesztérgálás mértékének összefüggése elsőrendű közelítéssel ugyanarra a képletre vezet, mint az archimédeszi spirálisé [11, 12, 13, 14]

$$H_{\text{archimédeszi}} = \frac{D \cdot \pi}{z} \cdot \tan \alpha_x \quad (7)$$

$$H_{\text{logaritm. (egzakt)}} = \frac{D}{2} \cdot \left(1 - e^{-\frac{2 \cdot \pi}{z} \tan \alpha_x} \right) \quad (8)$$

$$H_{\text{logaritm. (közelítő)}} \approx \frac{D \cdot \pi}{z} \cdot \tan \alpha_x \quad (9)$$

Fő feltételezések [16]:

- kis szögelfordulást vizsgálunk,
- a logaritmikus spirál exponenciális tagját elsőrendű Taylor-közelítéssel helyettesítjük,
- a másod- és magasabb rendű tagokat elhanyagoljuk,
- a vizsgált kis tartományban a sugárváltozás közel lineáris a szögelfordulással.

A fogak száma, osztása és elrendezése szintén lényeges geometriai paraméterek. Ha a marónak z db foga van [11, 12, 13, 14]

$$\Delta \varphi = \frac{2 \cdot \pi}{z} \quad (10)$$

A maró sugara pedig [11, 12, 13, 14]

$$r_0 = \frac{D}{2} \quad (11)$$

ahol D a maró névleges külső átmérője.

A nagyobb fogszám egyenletesebb forgácsolást és jobb felületi minőséget eredményezhet, ugyanakkor csökkenti az egy fogra jutó forgácsolási energiát [1, 5, 8].

Közönséges hátraesztérgált fogú alakmaró fogszámának meghatározásához ajánlott tapasztalati képlet [5]:

$$z = 0.5 \cdot \frac{D}{\sqrt[3]{h_z^2}} \quad (12)$$

ahol:

h_z – a maró élprofiljának magassága [mm]

A (12) összefüggés a közönséges hátraesztérgált fogú alakmarók fogszámának közelítő meghatározására szolgáló tapasztalati (empirikus) képlet. A képlet bal oldalán szereplő z fogszám dimenzió nélküli mennyiség, míg a jobb oldalon található D maróátmérő és h_z élprofilmagasság hosszúságdimenzióval rendelkező geometriai paraméterek, amelyek értékét milliméterben kell megadni. A (12) képlet ezért szigorú értelemben nem dimenzióhomogén elméleti összefüggés. Ennek oka, hogy nem fizikai alapegyenletekből történő levezetéssel, hanem gyakorlati tapasztalatok és korábbi szerszámkonstrukciók geometriai adatai alapján határozták meg. A képletben szereplő 0,5 tapasztalati együttható a választott mértékegységrendszerhez is kötődik, ezért az összefüggés alkalmazásakor a D maróátmérőt [mm] és a h_z élprofilmagasságot [mm] következetesen milliméterben kell behelyettesíteni. Más mértékegység alkalmazása esetén a 0,5 tapasztalati együttható értékét is megfelelően módosítani kell [5, 11].

Ha a marónak erősített fogai vannak, akkor a fogszám meghatározásához használható képlet [5]:

$$z = (0.6 \div 0.7) \cdot \frac{D}{\sqrt[3]{h_z^2}} \quad (13)$$

A (13) összefüggés az erősített fogú hátraesztérgált alakmarók fogszámának közelítő meghatározására szolgáló tapasztalati (empirikus) képlet. A képlet bal oldalán szereplő z fogszám dimenzió nélküli mennyiség. A jobb oldalon található D maróátmérő és h_z élprofilmagasság ezzel szemben hosszúságdimenzióval rendelkező geometriai paraméterek, amelyek értékét milliméterben kell megadni [5, 11, 13].

A 0,6 ÷ 0,7 közötti tapasztalati együttható az erősített fogkialakítás figyelembevételére szolgál. A közönséges fogú alakmaróknál alkalmazott 0,5 értékhez képest nagyobb együttható azonos maróátmérő és profilmagasság mellett nagyobb számított fogszámot eredményez. Az adott tartományon belüli konkrét érték megválasztása a szerszám konstrukciójától, a fogak geometriai kialakításától és a szükséges forgácsolási nagyságtól függ [5, 11, 13].

Mivel az összefüggés tapasztalati eredetű, szigorú értelemben ez sem tekinthető dimenzióhomogén elméleti egyenletnek. A 0,6 ÷ 0,7 közötti együttható a választott mértékegységrendszerhez is kötődik, ezért a D maróátmérőt [mm] és a h_z élprofilmagasságot [mm] következetesen milliméterben kell a képletbe behelyettesíteni. A számításnál kapott z fogszámot a gyakorlati szerszámkonstrukció követelményeinek megfelelő egész értékre kell megválasztani [5, 11, 13].

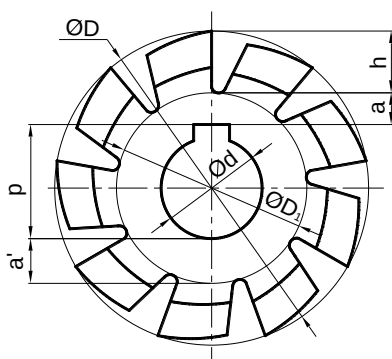
A fogosztás megválasztásánál figyelembe kell venni a megmunkálendő anyag tulajdonságait, a forgácsolási paramétereket és a szerszám várható terhelését [5].

A forgácshorony ϑ szöge hátraesztergált marók esetén legtöbbször 20° , 25° vagy 30° [5].

A tárcsamarók geometriai vizsgálata során különös figyelmet kell fordítani a vezértárcsa profilja és a létrejövő hátramunkálási görbe közötti kapcsolatra. A vezértárcsa alakja közvetlenül meghatározza a hátfelület geometriáját, ezáltal a hátszög változását és az újraélezés utáni szerszámgeometriát. A geometriai összefüggések pontos ismerete lehetővé teszi olyan tárcsamarók tervezését, amelyek kedvező forgácsolási tulajdonságokkal rendelkeznek, és több élezési ciklus után is megőrzik funkcionális jellemzőiket [1, 5, 8].

A maró d furatátmérőjének megválasztása a marótest szilárdsági szempontjai alapján történik. A számítás során egy D_1 átmérőjű gyűrűt veszünk figyelembe, amelyet a maró furatfelülete és a forgácshorony lábrészének fenékfelülete határol (7. ábra) [5]:

$$D_1 = D - 2 \cdot h \quad (14)$$



7. ábra. A maró furatátmérőjének megállapítása

A számítások során elfogadjuk azt a feltételt, hogy a gyűrű vastagsága – a reteszhorony hatásának elhanyagolása mellett – nem csökkenhet $0.3 \cdot d$ érték alá [5]. Vagyis:

$$d + 2 \cdot a' \leq D_1 \quad (15)$$

tehát

$$d + 0.6 \cdot d \leq D_1 \quad (16)$$

azaz

$$d \leq 0.625 \cdot D_1 \quad (17)$$

A d átmérőnek a (17) képlettel való meghatározása után ellenőrizni kell a marótest gyűrűjének a vastagságát a reteszhorony figyelembevételével [5]:

$$a = \frac{D}{2} - h - \left(p - \frac{D}{2} \right) \quad (18)$$

Ahol a p táblázatban megtalálható reteszhorony méret.

Ha a (18) képlet alkalmazásával számított gyűrűvastagság nagyobb, mint $0.3 \cdot d$, akkor a maró furatátmérőjét kisebb értékre kell választani.

3.1. Az archimédeszi és logaritmikus spirális hátfelületű marók összehasonlító vizsgálata

A vizsgálat célja az archimédeszi és logaritmikus spirális hátfelületű marók geometriai összehasonlítása, elsősorban a hátraesztergálási mérték és az adott pontbeli hátszög változásának szempontjából. Azonos maróátmérő, fogszám és névleges hátszög mellett meghatározható mindkét spirálhoz tartozó radiális méretcsökkenés, majd ezek eltérése.

Az összehasonlító vizsgálathoz az alábbi kiinduló adatokat használtuk (1. táblázat). A számszerű összevetéshez példaként $D=100$ mm maróátmérőt választottunk; a fogszámot és a névleges hátszöget több értéken vizsgáltuk.

1. táblázat. Kiinduló adatok

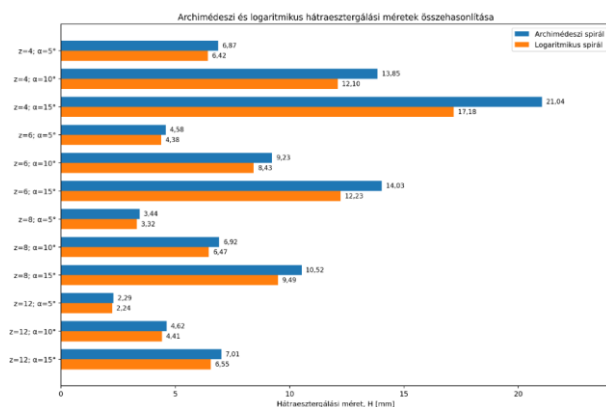
Jelölés	Megnevezés	Vizsgált érték
D	Maróátmérő	100 mm
r_0	Kiindulási sugár, $(D/2)$	50 mm
z	Fogszám	4; 6; 8; 12
α_x	Névleges hátszög	5° ; 10° ; 15°
$\Delta\varphi$	Egy fogosztáshoz tartozó szögelfordulás	$\Delta\varphi = \frac{2 \cdot \pi}{z}$
H_a	Archimédeszi spirál hátraesztergálási mérete	$\frac{D \cdot \pi}{z} \cdot \tan \alpha_x$
H_l	Logaritmikus spirál hátraesztergálási mérete	$\frac{D}{2} \cdot \left(1 - e^{-\frac{2 \cdot \pi}{z} \tan \alpha_x} \right)$

2. táblázat. Eredmények

Fogszám z	Hátszög α_x	Archimédeszi H_a [mm]	Logaritmikus H_l [mm]	Eltérés [%]
4	5°	6,87	6,42	6,57
4	10°	13,85	12,10	12,65
4	15°	21,04	17,18	18,38
6	5°	4,58	4,38	4,44
6	10°	9,23	8,43	8,69
6	15°	14,03	12,23	12,80
8	5°	3,44	3,32	3,36
8	10°	6,92	6,47	6,62
8	15°	10,52	9,49	9,82
12	5°	2,29	2,24	2,26
12	10°	4,62	4,41	4,48
12	15°	7,01	6,55	6,70

Az eredmények a 2. táblázatban azt mutatják, hogy azonos kiinduló geometriai adatok mellett a logaritmikus spirál hátraesztergálási mérete minden esetben kisebb, mint az archimédeszi spirálé (8. ábra). Az eltérés a

hátszög növelésével nő, míg a fogsám növelésével csökken (2. táblázat).



8. ábra. Hátraesztérgálási méretek összehasonlítása

3.2. Tárcsamarók gyártási folyamata

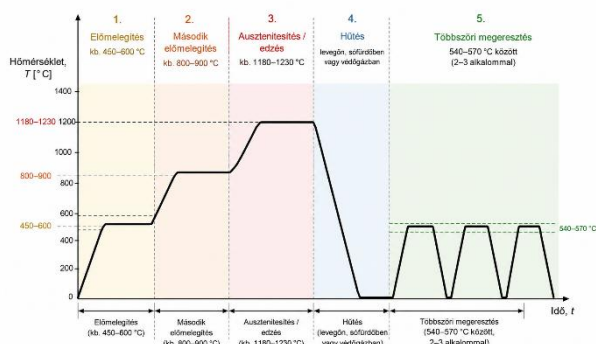
A tárcsamarók gyártása a megfelelő szerszámanyag kiválasztásával kezdődik, amely általában gyorsacél vagy keményműanyag. Az alapanyagból esztérgálással kialakítják a tárcsa külső és belső felületeit, valamint a szükséges méreteket és csatlakozó elemeket.

A profilos tárcsamarók esetében a hátfelület kialakítása rendszerint hátraesztérgálással történik, amelyhez speciális vezértárcsát alkalmaznak. A hátraesztérgálás célja, hogy az ismételt élezések során a szerszám profilja a lehető legkisebb mértékben változzon.

A geometriai kialakítás után a szerszámot hőkezelésnek vetik alá, amely biztosítja a szükséges keménységet és kopásállóságot.

Gyorsacél (HSS) tárcsamarók esetén a leggyakoribb hőkezelési eljárás (9. ábra):

1. Előmelegítés (kb. 450–600 °C)
2. Második előmelegítés (kb. 800–900 °C)
3. Auszténitesítés / edzés (kb. 1180–1230 °C)
4. Hűtés (levegőn, sófürdőben vagy védőgázban)
5. Többszöri megeresztés (általában 2–3 alkalommal, 540–570 °C között)



9. ábra. Gyorsacél tárcsamaró hőkezelési ciklusa

A 9. ábrán az 1.3343 (HS6-5-2C, AISI M2) gyorsacélból készült tárcsamarók jellemző hőkezelési

ciklusa látható. Az anyag hőkezelése többlépcsős előmelegítést, 1180–1230 °C közötti auszténitesítést, ezt követő intenzív hűtést, majd 550–570 °C körüli többszöri megeresztést foglal magában [15].

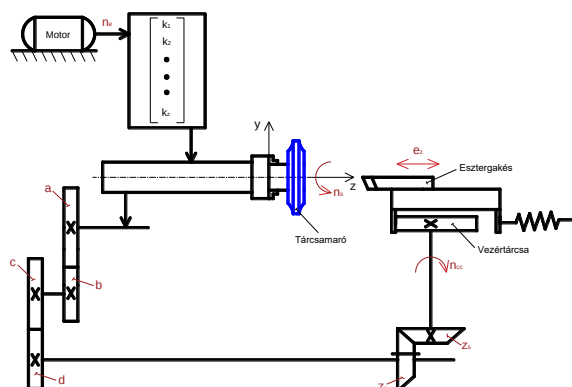
Keményműanyag tárcsamarók esetében a forgácsoló rész már a porkohászati gyártás során nyeri el végleges keménységét, ezért hagyományos edzést és megeresztést általában nem alkalmaznak.

A hőkezelést követően finomkösztörüléssel alakítják ki a végleges méreteket és az előírt élgeometriát.

Az utolsó műveletek közé tartozik az élezés, a minőségellenőrzés, valamint szükség esetén a felületbevonat (például TiN vagy TiAlN) felhordása, amely tovább növeli a szerszám élettartamát és forgácsolási teljesítményét.

4. A VEZÉRTÁRCSA ÉS A HÁTRAMUNKÁLÁSI GÖRBÉK SZEREPE

A tárcsamarók vágóéleinek megfelelő működéséhez elengedhetetlen a szükséges hátszög biztosítása, amely lehetővé teszi a szerszám és a megmunkált felület közötti súrlódás csökkentését, valamint a forgácsolóél kedvező forgácsolási viszonyainak fenntartását. A hátszög kialakítása hátramunkálással történik, amely során a fog hátfelülete a vágóél mögött meghatározott törvényszerűség szerint eltávolításra kerül. A hátramunkálás eredményeként a vágóél mögött olyan felület jön létre, amely biztosítja a szükséges szabadteret a forgácsolás és a forgács eltávolítás során [1, 5, 8].



10. ábra. Hátraesztérga gép elvi felépítése

A 10. ábrán látható, hogy a munkadarab egyenletes forgómozgást végez (n_s), mely fordulatszám a főhajtómű alapján beállítható [6]:

$$\begin{bmatrix} n_1 \\ n_2 \\ \vdots \\ n_z \end{bmatrix} = n_e \cdot \begin{bmatrix} k_1 \\ k_2 \\ \vdots \\ k_z \end{bmatrix} \quad (19)$$

Ahol:

n_e – a villanyomotor bemenő fordulatszáma [1/min],
 $n_1, n_2, \dots, n_z$ – a főhajtómű által biztosított főorsó fordulatszámok [1/min],

$k_1, k_2, \dots, k_z$ – a főhajtómű hajtóviszonyai.

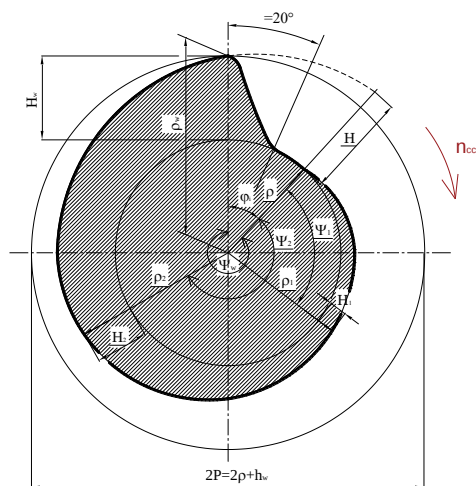
A hátramunkálás során a szerszám radiális mozgását a főorsóval merev kinematikai kapcsolatban álló vezértárcsa vezérli. A vezértárcsa profilja határozza meg a hátramunkáló mozgást és ezáltal a fog hátfelületén kialakuló hátramunkálási görbe alakját. A vezértárcsa geometriája közvetlenül befolyásolja a hátfelület kialakulását, a hátszög alakulását és a forgácsolói működési jellemzőit [6].

A marószerszám hátraesztérgálásakor egy főorsófordulat alatt a szerszám valamennyi, z számú fogának hátramunkálását végre kell hajtani, ezért a vezértárcsa fordulatszámának a főorsóéhoz viszonyított arányát a fogszám határozza meg [6].

Ezt az áttételi viszonyt cserekerékrendszer segítségével állítják be. A főorsótól a vezértárcsáig terjedő kinematikai lánc egyenlete a következőképpen adható meg [6]:

$$n_s \cdot \frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} \cdot \frac{z_r}{z_s} = n_{cc} \quad (20)$$

A hátramunkálási görbe alakja közvetlenül befolyásolja a hátszög alakulását. A görbe meredekségének változása a hátszög változását eredményezi, ami hatással van a szerszám kopására, a forgácsolási erőkre és az újraélezés utáni geometriai pontosságra. Ezért a vezértárcsa (11. ábra) profiljának és az általa létrehozott hátramunkálási görbének a vizsgálata alapvető fontosságú a tárcsamarók geometriai és élezési jellemzőinek értékelése során [1, 5, 8].



11. ábra. Vezértárcsa geometriai kialakítása

5. GEOMETRIAI ÉS ÉLEZÉSI JELLEMZŐK VIZSGÁLATÁNAK PROBLÉMÁI

A tárcsamarók forgácsolóképeségét, éltartamát és profilpontosságát jelentősen befolyásolják a geometriai és élezési jellemzők. Vizsgálatukat nehezíti, hogy az ismételt élezések során a fogprofil és az élgeometria folyamatosan változik, ami módosítja a szerszám működési tulajdonságait. További problémát jelent a

hátramunkált hátfelület összetett geometriája, mivel a hátramunkálási görbe alakját a vezértárcsa profilja és a gép kinematikai viszonyai határozzák meg. Az élezés következtében a szerszám méretei és geometriai paraméterei is változnak, ezért szükséges a geometriai módosulások modellezése és elemzése. A pontos vizsgálathoz a vezértárcsa, a hátramunkálási görbék és az élezés hatására bekövetkező profilváltozások együttes figyelembevétele szükséges.

6. LEHETSÉGES VIZSGÁLATI ÉS MODELLEZÉSI IRÁNYOK

A tárcsamarók geometriai és élezési jellemzőinek pontosabb megismerése érdekében célszerű a hátramunkálási görbék matematikai és geometriai modellezése. A [16, 19, 20, 21] szakirodalmakban a logaritmikus és az archimédeszi spirál alkalmazását is vizsgálták hátramunkált alakos és fogazott marószerszámok kialakítására, amelyek igazolják a hátramunkálási görbe geometriai jelentőségét.

A vizsgálatok során elemezhető a vezértárcsa profiljának hatása a hátfelület alakjára, a hátszög változására, valamint az újraélezések során bekövetkező geometriai módosulásokra. A CAD-alapú tervezés és a numerikus szimuláció lehetőséget biztosít különböző szerszámgeometriák összehasonlítására és a geometriai paraméterek optimalizálására [17, 18].

További vizsgálati irányt jelenthet az újraélezések hatásának modellezése, valamint a hátramunkálási és köszörülési paraméterek kapcsolatának elemzése. A korszerű hátramunkáló köszörülési eljárások vizsgálatai alapján a köszörűkorong geometriája és a technológiai paraméterek egyaránt befolyásolják a kialakuló szerszámfelület tulajdonságait [19, 21].

7. KÖVETKEZTETÉSEK

A tárcsamarók geometriai és élezési jellemzőit alapvetően meghatározza a hátramunkálás módja és a hátramunkálási görbe alakja. A görbe geometriája közvetlenül befolyásolja a hátfelület kialakulását és a hátszög alakulását, ezáltal hatással van a szerszám forgácsolóképeségére és újraélezhetőségére [16, 19, 20].

Napjainkban a marószerszámok hátfelületének kialakítása jellemzően CNC-vezérlésű gépekkel, valamint CAD- és szimulációs módszerekkel történik. Ezek lehetővé teszik az összetett szerszámgeometriák pontos tervezését és elemzését [17, 18].

A hagyományos hátraesztérgálás és vezértárcsás hátramunkálás elméletének ismerete ennek ellenére továbbra is fontos, mivel a korszerű szerszámtervezési és gyártási eljárások alapját ma is a klasszikus geometriai és kinematikai összefüggések képezik. A hátramunkálás vizsgálata ezért nemcsak történeti és oktatási szempontból jelentős, hanem a korszerű szerszámtervezés geometriai alapjainak megértéséhez is hozzájárul [17, 18, 21].

8. ÖSSZEFOGLALÁS

A tanulmány áttekintette a tárcsamarók geometriai és élezési jellemzőinek alakulását meghatározó főbb tényezőket, különös tekintettel a hátramunkálási folyamatra és a vezértárcsa szerepére. Bemutatásra került a hátraesztérgálás technikátörténeti fejlődése, valamint a tárcsamarók geometriai sajátosságai és azok kapcsolata a forgácsolási teljesítménnyel.

Az elemzés rámutatott arra, hogy a vezértárcsa geometriája alapvetően meghatározza a kialakuló hátramunkálási görbét, ezáltal a szerszám hátfelületének geometriáját, a hátszögviszonyokat és az utánélezhetőséget. A vizsgálat feltárta azokat a főbb problémaköröket, amelyek a szerszámprofil változásának, az élezések hatásának és a geometriai paraméterek meghatározásának elemzése során jelentkeznek.

Konkrét számadatokkal is végeztünk összehasonlító vizsgálatot archimédeszi és logaritmikus spirális hátfelületű marók esetére ugyanazon maróátmérő állandósága mellett.

A tanulmány eredményei megalapozták a tárcsamarók geometriai modellezésére és elemzésére irányuló további kutatásokat, amelyek hozzájárulhatnak a hátramunkálási folyamat pontosabb leírásához, valamint a szerszámok geometriai kialakításának és élezési technológiájának optimalizálásához.

8. SUMMARY

The study reviewed the main factors influencing the geometric and sharpening characteristics of disc milling cutters, with particular emphasis on the relieving process and the role of the control cam. The historical development of relieving technology was presented, along with the geometric characteristics of disc cutters and their relationship to cutting performance.

The analysis demonstrated that the geometry of the control cam fundamentally determines the resulting relieving curve and, consequently, the geometry of the cutter flank surface, the clearance angle conditions, and the regrindability of the tool. The study identified the major issues arising in the investigation of tool profile changes, the effects of repeated sharpening, and the determination of geometric parameters.

A comparative analysis using specific numerical data was also carried out for milling cutters with Archimedean and logarithmic spiral flank surfaces, while maintaining the same constant cutter diameter.

The results of the study provided a foundation for further research on the geometric modeling and analysis of disc milling cutters. Such investigations may contribute to a more accurate description of the relieving process and to the optimization of tool geometry design and sharpening technology.

9. IRODALOM

- [1] **Bakondi K.:** *Hátraesztérgált marók és fogazószerszámok tervezése*, BME, Tankönyvkiadó, Budapest, 1976, p. 240
- [2] <https://doi101.com/Lathe/chapter3.html> (letöltve: 2026. 06. 05.)
- [3] **Balzer, S. M.:** *Device for Making Cutters*. U.S. Patent No. 535127, United States Patent Office, Washington, D.C., USA, 1895. Bejelentés: 1894. május 14., megadás: 1895. március 5.
- [4] **RusNC:** *Frezervanie kulachkov s profilem po arkhimedovoj spirali*. Elérhető:

- <https://rusnc.ru/poleznoe/frezerovanie-kulachkov-s-profilem-po-arkhimedovoj-spirali/> (letöltve: 2026. 06. 05.)
- [5] **Gorski, E.:** *Alakos megmunkálószerszámok, kések, üregelőtűrkék, marók*, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1976, p. 315, ISBN 963 10 1182 8
- [6] **Takács, E.:** *Szerszámgépek II.*, Nehézipari Műszaki Egyetem, Gépészmérnöki Kar, Tankönyvkiadó, Budapest, 1983, p. 84.
- [7] <https://www.lathes.co.uk/feinpruf-lathe/> (letöltve: 2026. 06. 13.)
- [8] **Dudás I.:** *Gépgyártástechnológia III., A. Megmunkáló eljárások és szerszámok. B. Fogazott alkatrészek gyártása és szerszámaik* Egyetemi tankönyv., Műszaki Kiadó, 2011., p. 538, ISBN 978-963-16-6531-4
- [9] **Brown, J. R.:** *Improvement in Universal Milling-Machines*. U.S. Patent, United States Patent Office, Washington, D.C., USA, 1865.
- [10] **Brown, J. R.:** *Improvement in Grinding-Machines*. U.S. Patent No. 187770, United States Patent Office, Washington, D.C., USA, 1877. Megadás: 1877. február 27.
- [11] **Mehta, N. K.:** *Metal Cutting and Design of Cutting Tools, Jigs & Fixtures*. McGraw Hill Education (India) Private Limited, New Delhi, India, 2015.
- [12] **Donaldson, C., LeCain, G. H., Goold, V. C.:** *Tool Design*. Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited, New Delhi, India.
- [13] **Bhattacharyya, A.:** *Metal Cutting: Theory and Practice*. New Central Book Agency (P) Ltd., Calcutta, India, 1984.
- [14] **Society of Manufacturing Engineers: Fundamentals of Tool Design**. Society of Manufacturing Engineers, Dearborn, Michigan, USA.
- [15] **Dörrenberg Edelstahl GmbH:** *Material No. 1.3343, HS6-5-2C (DMO5) – High-Speed Steel, Material Data Sheet*. Dörrenberg Edelstahl GmbH, Engelskirchen, Germany, 2024.
- [16] **Xu, X. X., Zhang, X. H., Zheng, Y. Y.:** *Logarithmic Spiral and its Application to the Design of the Relieving Shaped Milling Cutter*. Applied Mechanics and Materials, Vol. 42, pp. 396–399, 2010. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.42.396
- [17] **Khan, M. R., Tandon, P.:** *Computer-Aided Design and Analysis of a Custom-Engineered Form Milling Cutter*. Computer-Aided Design and Applications, Vol. 7, No. 2, pp. 213–219, 2010. DOI: 10.3722/cadaps.2010.213-219.
- [18] **Lee, S. W., Nestler, A.:** *Simulation-aided Design of Thread Milling Cutter*. Procedia CIRP, Vol. 1, pp. 120–125, 2012. DOI: 10.1016/j.procir.2012.04.019
- [19] **Nguyen, H. K., Dong, P. V., Tran, V. Q.:** *Investigation of Influence of Grinding Wheel and Cutting Parameters on Surface Roughness and Surface Hardening when Relieving Grinding the Gear Milling Teeth Surface Based on the Archimedes' Spiral*. International Journal of Metrology and Quality Engineering, Vol. 14, Article 1, 2023. DOI: 10.1051/ijmqe/2022016
- [20] **Gyéresi, H. A., Cristea, L., Máté, M.:** *The Improvement of the Precision of the Archimedean Spiral Toothline Gear Cutting Mill*. Papers on Technical Science, Vol. 14, pp. 23–29, 2021. DOI: 10.33894/mtk-2021.14.04
- [21] **Malkov, O. V., Pavlyuchenkov, I. A.:** *Relieving of Thread Milling Cutter Teeth Using a Grinding Wheel with a General Position Axis*. Russian Engineering Research, Vol. 45, No. 2, pp. 205–213, 2025. DOI: 10.3103/S1068798X25020136