

TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI DOLGOZAT

MOBIL CSÓMARÓ FEJLESZTÉSE

Készítette: **MOLEK DÁVID**
III. évf. hallgató

Témavezetők: **DR. PÁLINKÁS ISTVÁN**
professor emeritus



**Gödöllő
2014**

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés	3
2. Kutatásom célja.....	4
3. A kutatást támogató cég és a csőmarógép bemutatása	5
3.1. A kutatást támogató vállalkozás bemutatása	5
3.2. A mobil csőmarógép bemutatása.....	6
4. Vonatkozó szakirodalom áttekintése	7
4.1. A marás szerszámainak fő csoportjai	8
4.2. Palástmarás mozgási és forgácsolási viszonyai.....	9
4.3. Palástmarásnál használt marók fogalakjai és élgeometriája.....	12
4.4. Erő- és teljesítményszükséglet palástmarásnál	12
4.4.1. Forgácsoló sebesség hatása a forgácsoló erőre	13
4.4.2. Fogásmélység hatása a forgácsoló erőre	14
4.4.3. Szerszámanyag hatása a forgácsoló erőre	15
4.4.4. Hűtés hatása a forgácsoló erőre	16
5. Tengelyirányú forgácsolási kísérletek	17
5.1. Marás teljesítményigényének mérése	20
6. Tengelyirányú marás forgácsolási adatainak meghatározása modellezéssel	21
7. Sugárirányú marás matematikai összefüggései.....	27
8. Sugárirányú marás forgácsolási adatainak meghatározása modellezéssel.....	31
9. Kutatási eredmények összefoglalása.....	39
10. Kutató munka további céljai	40
11. Összefoglalás	41
12. Felhasznált irodalom	42
12. Mellékletek.....	43

1. Bevezetés

A gáz- és olajvezeték építése nemcsak az elmúlt évtizedeknek, de napjainknak kiemelt feladata is. A vezetékrendszerek üzemeltetőinek gyakori feladata a megsérült vezetékszakasz cseréje. Tekintettel arra, hogy a vezetékek építése és a sérülés kijavítása egyaránt csak a terepen történhet, mobil forgácsoló berendezésekre van szükség. A forgácsoló megmunkálás repedésmentes, tiszta csővégeket kell, hogy biztosítson. Az említett berendezés feladata a cső méretre vágásával egyidőben a hegesztési gyöknek mérethelyes kialakítása is. A világpiacon számos cégtől vásárolhatók ilyen berendezések.

Hazánkban a kecskeméti RÉZMŰ Kft. gyárt erre a célra alkalmas mobil csőmaró gépeket. A felhasználók részéről érkező igények és a gyártónál felgyülemlett tapasztalatok bizonyították, hogy a hazai és a nemzetközi piacon történő számottevő térnyerés csak jelentősebb, kutatással is alátámasztott fejlesztéssel valósítható meg.

Napjainkban a folyamatos alapanyag és különböző szerszámanyagok fejlesztése miatt szükségessé vált a mobil csőmarógépek forgácsolás-technológiájának fejlesztése is. A szakirodalomban a forgácsolási adatok meghatározásánál találkozhatunk palástmarással, homlokmarással, ezen belül egyen irányú és ellenirányú marással. Azonban ezek a marási eljárások sík mentén történnek. Maráskor, egy cső esetén, ív mentén történő megmunkálásról beszélünk. Ehhez azonban nincsenek meg a kellő forgácsolási beállítási adatok.

Dolgozatomban az ív mentén történő marási eljárást fogom megvizsgálni. A gyártó megbízásából a Gépipari Technológiai Intézet laboratóriumában forgácsolási kísérleteket végeztünk az optimális forgácsolási paraméterek megállapítása céljából. A kísérletek a gyakorlatban alkalmazott szerszámokkal, különböző átmérőjű és falvastagságú csövekből vett mintákon történtek.

2. Kutatásom célja

Kutatásom végső célja, hogy megfelelő beállítási értékek legyenek a különböző átmérőjű és falvastagságú csövek ív mentén történő megmunkálása esetén. Így a megfelelő beállítási értékek mellett a gép haladási sebességének maximalizálása, az ideális vágási és előtolási sebesség meghatározása, továbbá a gép hatásfokának javítása. Ehhez azonban elemezni kell a csövön tengellyel párhuzamos és arra merőleges irányban történő marás körülményeit.

Ezek után megállapítható, hogy a laboratóriumi kísérletek eredményei milyen módosítással alkalmazhatók a valós körülmények között dolgozó csőmarógép forgácsoló erő és teljesítmény igényének meghatározására.

Mostani kutatómunkám eredményeit felhasználva tudom a majd későbbiek során a végső célként leírtakat meghatározni.

Tehát a dolgozatomban a következőket tűztem ki célként:

- tengelyirányú marás forgácsolási adatainak meghatározását modellezéssel,
- sugárirányú marás forgácsolási adatainak meghatározását modellezéssel,
- sugárirányú marás forgácsolási adatainak meghatározását matematikai módszerrel,
- a matematikai módszerrel számított és a szimuláció adatainak összehasonlítását, végül
- a laboratóriumi kísérletek eredményei milyen módosítással alkalmazhatók valós körülmények között történt forgácsolásra.

3. A kutatást támogató cég és a csőmarógép bemutatása

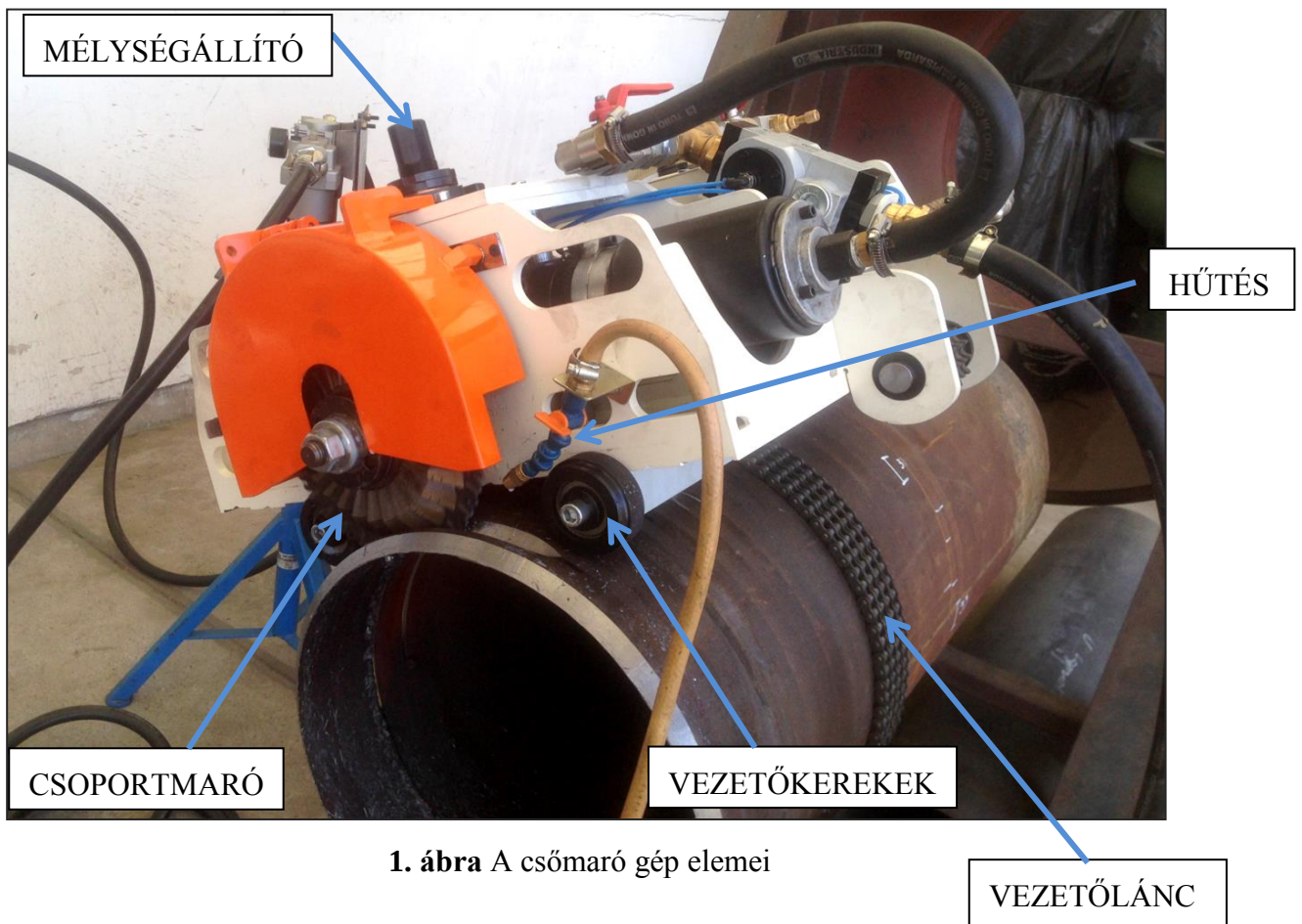
3.1. A kutatást támogató vállalkozás bemutatása

A kutatást és témát biztosító cég a **Rézmű Kft.** A céget 1993. október 1-jén alapították. Telephelye Kecskemét Csillag u.4. szám alatt található. A Rézmű Kft. megalakulása óta Kecskemét déli ipari területén működik. Kezdetben főként sárgarézből készült belsőépítészeti fémtermékeket, öntött vereteket, fémbútorokat, diszbútorokat gyártottak. Innen származik a cég neve is. Későbbiekben azonban bővült a termékkör. A termékeket rozsdamentes anyagokból, szénacélból és alumíniumból is készíthetik. A befejező műveleteket így a csiszolást, polírozást valamint az elektrosztatikus porfestést is a kft saját műhelyében végezte. Fontos szegmens a kórházi bútorgyártás, mellyel több, mint 15 éve foglalkozik a cég.

Fordulópontot jelentett a cég történetében, amikor a kft megkezdte a hegesztés technológiai segédeszközök, állványok, vezetősínek, nagyméretű kocsivezető bilincsek később pedig a nagyméretű, vastag falú csövek vágására alkalmas **csővágógépek** gyártását döntően külföldi megrendelésre. Mára már foglalkozik a gépgyártás mellett a csővágó és más gépek felújításával is. A profilkörbe tartozó termékek esetében több mint két évtizedes tapasztalat birtokában a Rézmű Kft. vállalja a termékek megtervezését és a helyszíni kivitelezést is. Legfontosabb célkitűzésük a gyártmányok és a technológia fejlesztése, hogy egyre több termékkel tudjanak megjelenni a piacon. A következő két-három évben 10-15%-os bővülésre számítanak, továbbá növekedést várnak a gép és készülékexport területén is. A Rézmű Kft. fő tevékenységét, a fémmegmunkálást kizárólag a székhelyül is szolgáló telephelyen végzik. Legnagyobb lehetőségeket a fémbútorgyártás és a bútoralkatrész gyártás, a kórházi bútorgyártás, valamint a gépgyártás területén látnak. Külföldi partnereik révén kiállításon is bemutatták az általuk gyártott termékeket az USA-ban és Németországban is.

3.2. A mobil csőmarógép bemutatása

A mobil csőmarógép, mint neve is utal rá, nem helyhez kötött, hanem hordozható egység. Szükséges is, hiszen erre a célra lett kifejlesztve, mivel az olaj és gázvezetékek sérülése esetén csak kint a helyszínen lehet a javítást elvégezni. A berendezés működtethető sűrített levegős, hidraulikus vagy elektromos meghajtó rendszerrel, attól függően, hogy az adott körülmények - műhely illetve terepi viszonyok - között, melyik biztosítható.



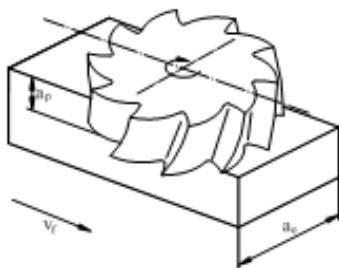
4. Vonatkozó szakirodalom áttekintése

A mobil csőmarógép forgácsolási és mozgási viszonyaihoz nem találtam megfelelő, ide vonatkozó szakirodalmat, ezért az általános marás forgácsolási és mozgás viszonyait fogom áttekinteni, ezen belül is a palástmarást, mivel ez a marási eljárás ennek felel meg. Ezért célszerű a palástmarás ismert összefüggéseit is áttekinteni.

A marás főleg sík, egymással párhuzamos vagy merőleges, ritkábban alakos felületek megmunkálására alkalmazott forgácsoló eljárás. A marás során elsősorban sík, síkokból összetett illetve egyéb alakos, rendszerint külső felületeket állítunk elő. A forgácsoló főmozgást, a forgómozgást mindig a szerszám végzi. A mellékmozgásokat a gép típusától függően többnyire a munkadarab, ritkábban a szerszám hajtja végre. Nagyméretű gépek esetében a szerszám végzi a mellékmozgásokat is. A marószerszám általában szabályos több élű forgácsoló szerszám, melynek fogai egymás után választják le a forgácsot. A fogásmélységet mind a szerszámtengely irányában, mind a rá merőleges – esetenként mindkét irányban egyszerre – szükséges meghatározni. Ezek jellemzők alapján változó keresztmetszetű forgács, szakaszos leválasztása valósul meg több élű határozott élgeometriájú szerszámmal.

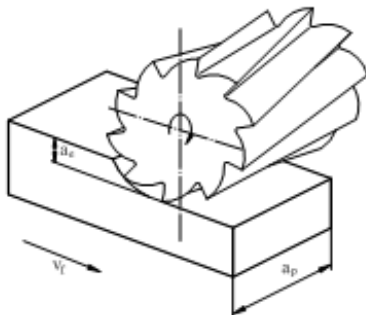
Alapjában véve két eljárásváltozat létezik a szerszám és munkadarab mozgását tekintve:

- Homlokmarás
- Palástmarás



2. ábra Homlokmarás

- A maró forgástengelye merőleges a megmunkált felületre.
- A leggyakrabban alkalmazott és legnagyobb teljesítményű marási eljárás.
- A megmunkált felület sík.

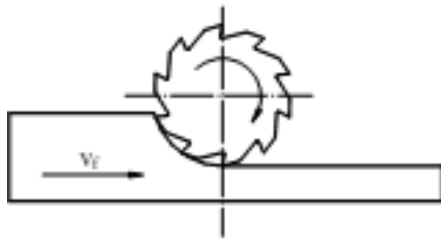


3. ábra Palástmarás

- A maró forgástengelye párhuzamos a megmunkált felülettel.
- A paláston lévő főélek forgácsolnak
- A megmunkált felület sík.

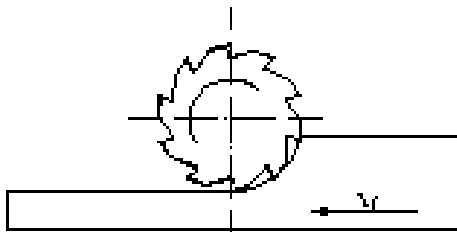
A marás módját tekintve kétfajta marási módot különböztetünk meg:

- Ellenirányú marás
- Egyen irányú marás



5. ábra Ellenirányú marás

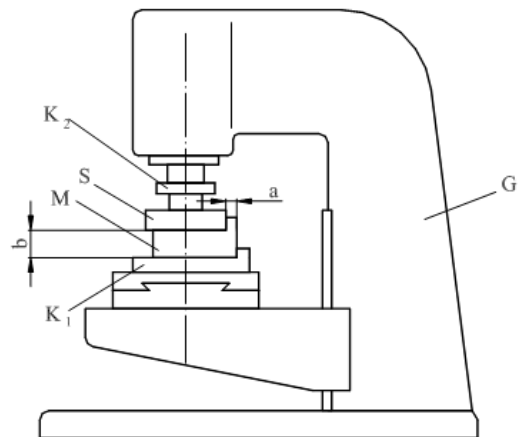
- Hagyományos eljárás
- Bármilyen gépen kivitelezhető



6. ábra Egyenirányú marás

- Újabb keletű eljárás
- Játékmentes asztalmozgatású gépet igényel

A 7. ábra a marás MKGS rendszerét mutatja. Az ábrán függőleges a tengelyű marógép (G), a munkadarabot befogó készülék (K_1), munkadarab (M), a szerszámbefogó készülék (K_2) és a szerszám (S) látható.



7. ábra MKGS rendszer

4.1. A marás szerszámainak fő csoportjai

A szerszámok befogórésze alapján a marószerszámok körében két nagy csoportot különböztetünk meg.

- száras marók (kisebb átmérőjű)
 - ujjmaró,
 - rádiusmaró,

- hosszlyukmaró,
- profilmaró,
- T-horonymaró,
- íves reteszhorony maró,
- menetmaró,
- szögmaró.
- furatos marók (nagyobb átmérőjű)
 - keresztfogazású tárcsamaró,
 - homlok-palátmaró,
 - szögmaró,
 - prizmás vezetékmáró,
 - profilmaró,
 - szelepülék maró.

A szár és a furat a marószerszámok felfogó eleme, azonban ezek segítségével is csak közvetve lehet a marókat a marógépekre felfogni. Ugyanis ezeknek a gépeknek a főorsójukban egy 7/24-es kúposágú meredek kúp van, ebbe illeszkedik a szerszámbefogó egyik vége, a másik vége pedig a maró furata vagy szára szerinti kialakítású.

Az általam vizsgált marási eljárás a keresztfogazású tárcsamarót és a szögmarót alkalmazza.

A marók anyaga igen változatos. A kisebb átmérőjű szármárók keményfémből és gyorsacélból is készülhetnek. A nagyobb átmérőjű készülhetnek forrasztott keményfém lapkával is, de újabban a legelterjedtebbek a váltólapkás marószerszámok.

Dolgozatomban a mobil csőmarógép mozgási és forgácsolási viszonyait tekintve tehát a palásmarással egyezik. Ezért a továbbiakban csak a palástmarás jellemzőivel foglalkozom.

4.2. Palástmarás mozgási és forgácsolási viszonyai

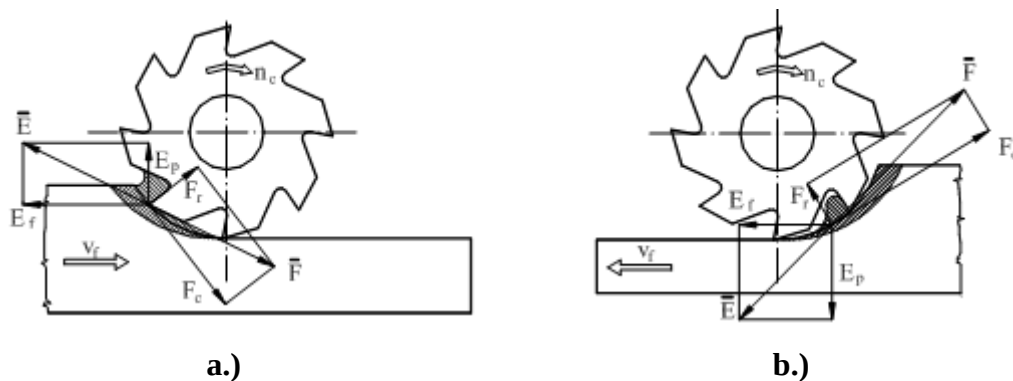
Palástmarásnál a forgácsoló mozgást a szerszám, az előtoló mozgást pedig a munkadarab vagy a szerszám végzi. Lényeges, hogy a maró forgástengelye párhuzamos a megmunkált felülettel. A megmunkált felület legtöbbször sík, de előfordulhat hengeres vagy alakos kontúr. Elérhető pontosság IT5- IT8, az érdesség pedig $Ra = 0,8-3,2 \mu m$.

Mint már említettem a palástmarásnak két változata van, ellenirányú és egyenirányú.

Ellenirányú marásnál a munkadarabra ható E_f erőkomponens ellentétes irányú v_f -el, ezért a csavarorsós asztalmazgatás holtjátéka nem érezteti hatását. Az E_e erőkomponens vi-

szont a munkadarabot megemelni igyekszik, ami nem valami előnyös. Belépéskor a szerszám éle megcsúszik a felületen, mert „nulla forgácsvastagság” mellett kezd el dolgozni. A megcsúszás gyorsítja az élkopást.

Egyenirányú marásnál a munkadarabra ható E_f erőkomponens megegyező irányú v_f -el, ezért a csavarorsós asztalmazgatás holtjátéka érezteti hatását. Az E_f erő az asztalt a holtjáték-nak megfelelően kissé előretolja, kilépve a marófog a fogásból (E_f lecsökken) az asztal egy pillanatra megáll, majd az orsó v_f sebességgel magával viszi, míg a következő fog ismét előre nem löki.



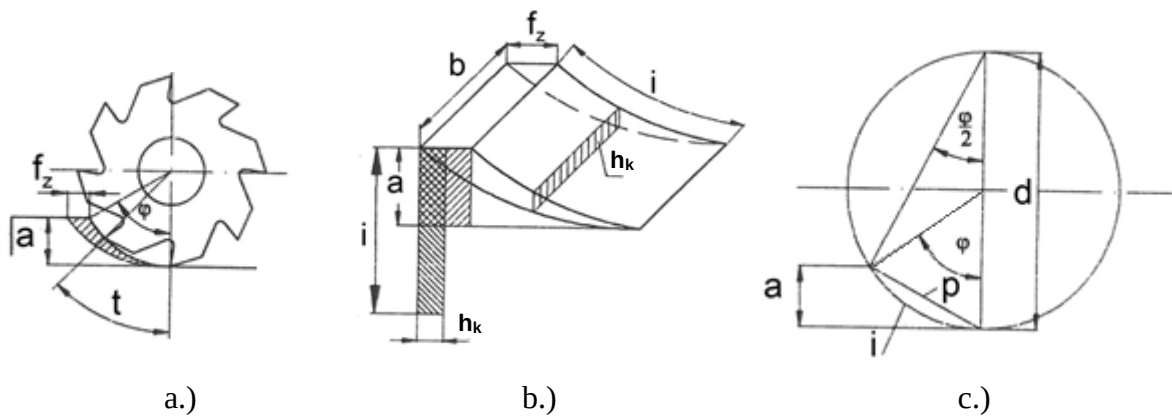
8. ábra A palástmarás változatai

a.) ellenirányú marás, b.) egyenirányú marás

E jelenség következtében egyes fogakra nagy terhelés jut, ami fogtöréshez vezethet. Illetve a megmunkálás során káros rezgések, rezonancia keletkezik, ami teljesítménycsökkenéssel jár. Viszont az E_p hatása kedvező hatást gyakorol, mivel a munkadarabot az asztalra szorítja. Kedvező a maróél belépése is, mert a szerszám nem csúszik meg, ezért kevésbé kopik.

Egyenirányú marást azonban csak nagy pontosságú gépeknél lehet alkalmazni, ahol az asztal holtjátékmentes. Az anyagleválasztás sebessége - Q [cm^3/perc] - melynek értéke 50-70%-kal nagyobb, mint ellenirányú marásnál.

Bármelyik változatról legyen szó, egyen- vagy ellenirányú marásról, a forgácsleválasztás szakaszosan történik és emellett a forgácskeresztmetszet változó jellegű, mint ahogy a 8. ábra is szemlélteti. A forgács „vessző” vagy „bajusz” alakú. Az 9. ábrán kirajzolt ideális vagy nem deformálódott forgácsalak keresztmetszetének legkisebb értéke a nullához közelít, legnagyobb értéke pedig f_z fogankénti előtolással megegyező. Az f_z fogankénti előtolás értéke marásnál a legfontosabb forgácsolási adat.



9. ábra Forgácsgeometria

a.) Mozgásviszonyok és forgácsalak, b.) Térfogat egyenlőség, c.) Geometriai viszonyok

Az erőszámításokhoz, a forgács változó keresztmetszete miatt, a közepes forgácsvastagság (h_k) ismerete szükséges. A térfogategyenlőség alapján:

$$h_k \cdot i \cdot b = a \cdot f_z \cdot b$$

Ahol: h_k : közepes forgácsvastagság [mm]

i : forgácsolási ív hossza [mm]

b : marószerszám szélessége

a : fogásmélység [mm]

f_z : fogankénti előtolás [mm/perc]

Ebből:

$$h_k = f_z \cdot \frac{a}{i} \text{ [mm]}$$

„ i ”-t a 9. ábra alapján így írhatjuk fel:

$$i \approx p = \sqrt{a \cdot d} \text{ [mm]}$$

Végül is a közepes forgácsvastagság:

$$h_k = f_z \cdot \sqrt{\frac{a}{d}} \text{ [mm]}$$

4.3. Palástmarásnál használt marók fogalakjai és élgeometriája

A palástmarók egy határozott élgeometriájú, több élű szerszámok. Lágy anyagokhoz ritkább, kemény anyagokhoz sűrűbb fogú marót kell választanunk. A marófogak alakja, tehát a forgácsoló él többféle kialakítású lehet. Jellegzetes alakjuk szerint háromféle fogak használatosak:

- martfogú marók
- hátraesztergált fogú marók
- öntött vagy zsugorított marók

A martfogú marók hát- és homloklapfelülete marással készül. A hátraesztergált maró hátlapfelülete hátraesztergálással, homloklapfelülete marással készül. Ezeket a marókat alakos horony vagy borda készítésénél használhatjuk. Az öntött vagy zsugorított fogú marók hátlapfelülete parabolikus, és utólag legfeljebb az élszalag van megmunkálva. Zsugorított marókat porkohászati úton állítják elő.

A leggyakoribb palástmarók furatosak és az élkiképzésük ferde. A ferde él nyugodt, rezgésmentes járást és kis erőhullámozást biztosít a szerszámnak. A hosszú élű palástmarók, a leválasztott forgács egybemaradó alakja miatt kedvezőtlen. Ezért forgácsosztó hornyokkal, vagy hullámos palástél kialakítással biztosítják a kedvezőbb forgácsalakot.

4.4. Erő- és teljesítményszükséglet palástmarásnál

A maró egy fogára eső forgácsolóerő (F_{c1}) az általános erőképlet szerint:

$$F_{c1} = k_c \cdot A_{c1} = k_c \cdot b \cdot h_k \quad [\text{N}]$$

A teljes főforgácsoló erőt (F_c) a kapcsolási szám (ψ) figyelembe vételével számítjuk ki:

$$F_c = \psi \cdot F_{c1} \quad [\text{N}]$$

A kapcsolási szám az egyszerre forgácsolást végző marófogak számát fejezi ki:

$$\psi = \frac{i}{t} \approx \frac{p}{t} = \frac{z \cdot \sqrt{a \cdot d}}{d \cdot \pi} = \frac{z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{a}{d}} \quad [\text{mm}]$$

Ahol: t : fogosztás [mm]

p : forgácsolási ív hossza [mm]

z : marószerszám fogszáma [db]

d: marószerszám átmérője [mm]

Dolgozatomban az ívhosszt (i) meghatároztam, ezért nem szükséges közelítést használni, így végül F_c a következő képlettel számítható:

$$F_c = \psi \cdot F_{c1} \text{ [N]}$$

A főforgácsoló erő ismeretében a maró forgatásához szükséges tiszta forgácsolási teljesítmény:

$$P_c = \frac{F_c \cdot v_c}{60 \cdot 1000} \text{ [kW]}$$

Ahol: v_c : forgácsoló sebesség [m/perc]

Behelyettesítve F_c -t:

$$P_c = \frac{k_c \cdot a \cdot f_z \cdot b \cdot z \cdot v_c}{d \cdot \pi \cdot 60 \cdot 1000} \text{ [kW]}$$

Felhasználva, hogy a forgácsoló sebesség és az előtoló sebesség:

$$v_c = \frac{d \cdot \pi \cdot n}{1000} \text{ [m/perc]} \text{ és } v_f = f_z \cdot z \cdot n \text{ [mm/perc]}$$

végül is v_c -t behelyettesítve:

$$P_c = \frac{k_c \cdot a \cdot f_z \cdot b \cdot z \cdot n}{60 \cdot 10^6} \text{ [kW]}$$

behelyettesítve v_f -et:

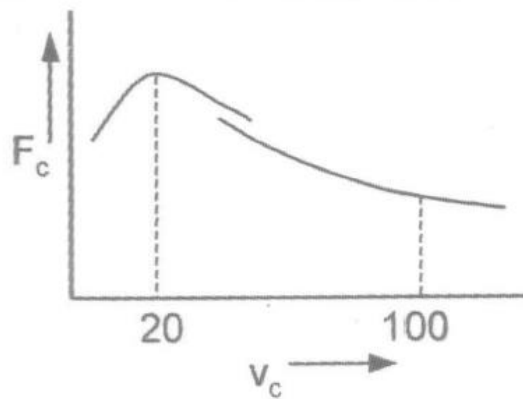
$$P_c = \frac{k_c \cdot a \cdot b \cdot v_f}{60 \cdot 10^6} \text{ [kW]}$$

Fontos azonban megjegyezni, hogy mind a forgácsolóerő, mind a forgácsoló teljesítmény a fentebb kiszámított értéke általános vagy közepes jellegű, mivel a közepes forgácsvastagságot vettük alapul. Amennyiben a csúcserőkre és csúcsteljesítményekre vagyunk kíváncsiak, akkor a legnagyobb forgácsvastagsággal kell számolni, ami kb. kétszerese h_k -nak.

4.4.1. Forgácsoló sebesség hatása a forgácsoló erőre

A forgácsoló erőt nagymértékben befolyásolja a forgácsolási sebesség. Általánosságban elmondható, hogy a 100 m/perc feletti tartományban a forgácsoló erő már csak jelentéktelen

mértékben csökken, a forgácsolási sebesség növelésével. Általánosságban azonban elmondható, hogy a forgácsoló erő csökkentése érdekében célszerű minél nagyobb sebességgel forgácsolni, egy megfelelő tartományban maradva. A következő ábra a forgácsoló erő változását mutatja, a forgácsoló sebesség függvényében.



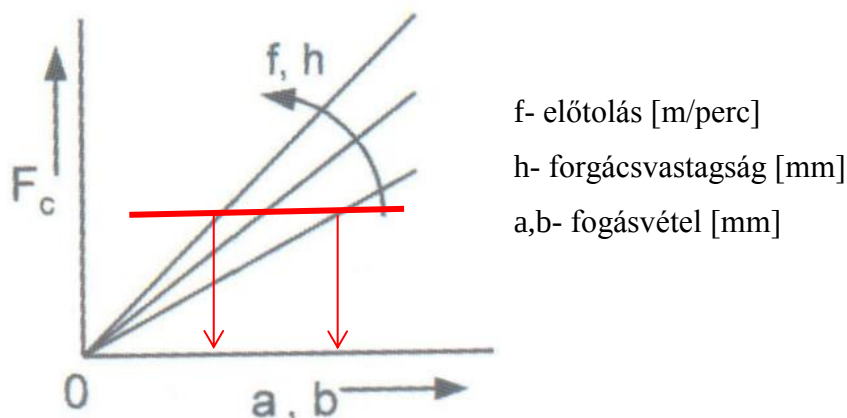
10. ábra Forgácsolóerő változása a forgácsoló sebesség fv.-ében

A forgácsoló erőt több tényező befolyásolja még, így például

- a fogásmélység nagysága,
- az anyag kémiai összetétele, fizikai tulajdonságai,
- a hűtés mértéke,
- és a szerszámanyag tulajdonsága.

4.4.2. Fogásmélység hatása a forgácsoló erőre

A fogásvétel (fogásmélység) növekedésével, a forgácsoló erő arányosan növekszik. A függvény egyenesét a beállított előtolással tudjuk módosítani, így az egyenesek meredekebbek vagy kevésbé meredekebben emelkedhetnek. Látható, hogy ugyan azt a forgácsoló erőt, nagyobb fogásvétel esetén, kisebb előtolással tudjuk elérni. A következő ábra jól szemlélteti a változásokat.



11. ábra Forgácsolóerő változása a fogásmélység fv.-ében

4.4.3. Szerszámanyag hatása a forgácsoló erőre

A szerszámanyag is nagymértékben befolyásolja a forgácsoló erőt. A mai világban gyorsan terjednek az egyre újabb és újabb különböző tulajdonságokkal rendelkező bevonat típusok. Beszélhetünk gyorsacél, keményfém és kerámia, szerszámokról. Továbbá mindezek a szerszámok bevonatokkal is elláthatók, mint pl.: a TiN (titán-nitrid), CrN (króm-nitrid). A bevonatoknak többféle célja lehet:

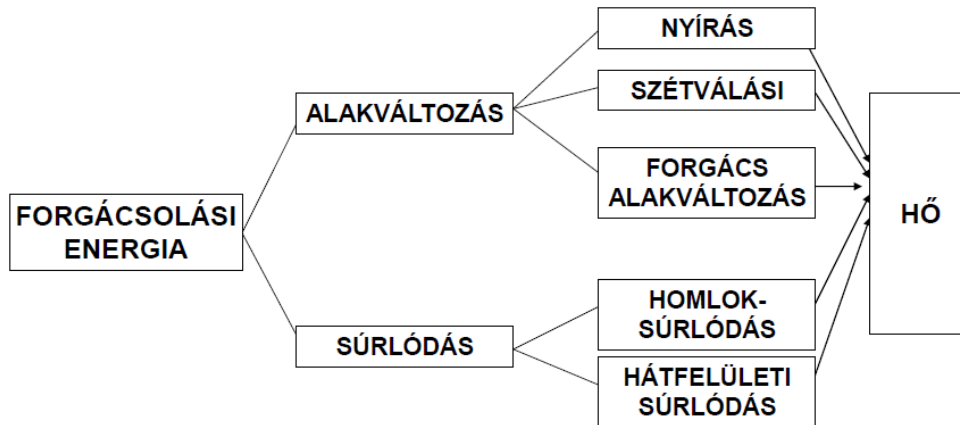
- korrózióvédelem, passziválás,
- felületi keménység, kopásállóság növelése,
- felületi súrlódási tényező csökkentése,
- felület kémiai stabilitásának növelése,
- hősokk érzékenység csökkentése,
- szerszámél-tartam növelése.

A forgácsolási erőt befolyásolja még a munkadarab és szerszám közötti súrlódási tényező is. Nyilvánvaló, hogy minél kisebb a szerszám és munkadarab között fellépő súrlódás, annál kisebb lesz a forgácsleválasztáshoz szükséges erő. Sokféle bevonat létezik, melyek az alkalmazási hőmérsékletben, súrlódási tényezőben, a bevonat vastagságában és keménységükben különböznek. Néhány bevonattípus: TiN, TiAlN Monolayer, TiAlN Multilayer, TiCN-MP, AlTiN, CrN, és még sorolhatnám. Ezeket színükben is meg lehet különböztetni. A kutatás során mi bevonat nélküli gyorsacél szerszámot és TiN (Titán-nitrid) bevonattal ellátott gyorsacél szerszámot használtunk. Ennek jellemző színe az arany.

4.4.4. Hűtés hatása a forgácsoló erőre

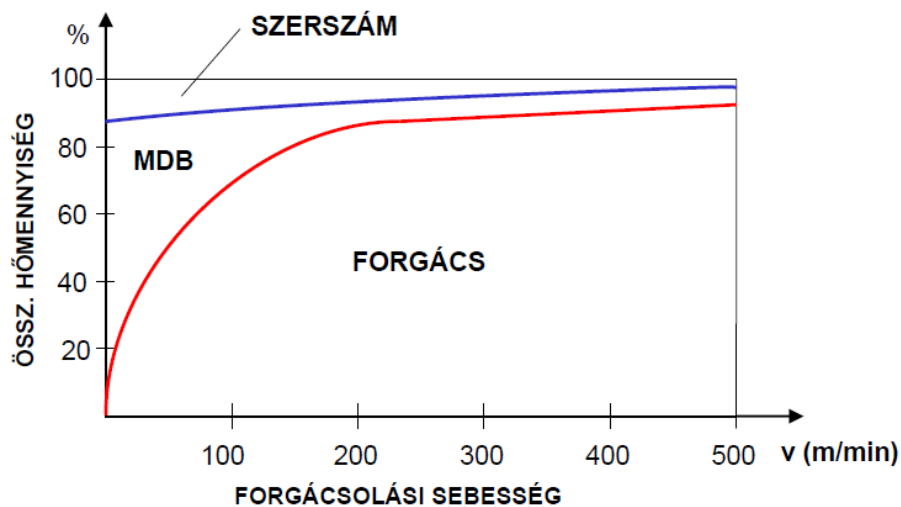
A forgácsolásba fektetett munka csaknem teljes egészében, több mint 90%-ban hővé alakul.

A következő ábra a forgácsolási energia átalakulását mutatja:



12. ábra Energia átalakulás forgácsolás során

A következő ábra a forgácsolási sebesség függvényében mutatja be a hőeloszlási arányokat acél munkadarab esetén.



13. ábra Hőeloszlási arányok

Látható, hogy általánosságban a legnagyobb hő a forgáccsal távozik (60-80%), a munkadarabban 10-20% hő nyelődik el, a szerszámban 2-5%. A forgácsolási hőmérséklet hatásosan csökkenthető hűtőfolyadék felhasználásával. Jelentősége nem csak az, hogy hőelvonással csökkenti a szerszámél hőfokát, hanem az adott hűtőközegetől függően kenőhatást is fejt ki, amely csökkenti a súrlódást a szerszám és a forgács, illetve a szerszám és munkadarab között. Esetünkben azért is fontos a folyadékűtés, mert csökkenti a szikraképződést, ezzel együtt a csőben maradt gáz berobbanásának veszélyét. [1], [2], [3], [4], [5], [6].

5. Tengelyirányú forgácsolási kísérletek

A nagy átmérőjű és falvastagságú olaj és gázvezetékek fektetése vagy meghibásodása során nélkülözhetetlen a helyszíni vágás és a szükséges varratgyök kialakítása. Ezek a gyakorlatban egyszerre, egy műveletben történnek csoportmarót alkalmazva mobil csőmarógépen. A gyakorlatban ez a marási folyamat térbeli helyzetben történik, a mobil marógép körbe járja a lefektetett hibás csövet, esetenként előfordul, hogy függőlegesen álló csövet kell megmunkálni.

A forgácsolási kísérletek célja, hogy minél nagyobb előtolást tudjunk elérni mivel ezzel tudjuk csökkenteni a vágási időt. Emellett egy optimális szerszámkonstrukció és forgácsolási paraméterek meghatározása a gyakorlatban használt különböző anyagú, átmérőjű és falvastagságú csövekhez.

A forgácsolási kísérletekre a Szent István Egyetem Gépipari Technológiai Intézetének ISO minősítéssel rendelkező laboratóriumában került sor. Ezek azonban nem a valós körülményeket írja le, mivel egy univerzális marógépen került sor a mérést elvégezni, így csak tengelyirányú marás közben tudtuk a mérést elvégezni.

Forgácsoló szerszámok

A forgácsolási folyamatban a szerszámok szerepe jelentős. A gyakorlatban eddig szinte csak a bevonat nélküli gyorsacél (HSS) szerszámokat alkalmazták. A kísérlet során a bevonat nélküli gyorsacél szerszámok mellett, megegyező geometriájú de Titán-nitrid (TiN) bevonatú szerszámokkal is elvégeztük a kísérletet, hogy meghatározzuk az ajánlott forgácsolási adatokat. A szerszámok kialakítása a gyakorlatban bevált, ezeket változtatni nem fogjuk.

A mobilmaró három darabból álló csoportmaróval forgácsol, ellenirányú marási módban, közben folyadékkal (emulzióval) hűtjük. A vágást egy keresztfogazású tárcsamaró végzi. Két oldalán egy-egy szögmarónak a V alakú horony kialakítása a feladata, amely a hegesztési varrat gyökének felel meg.

Mérésre került:

- a marás összes teljesítmény igénye
- a szerszám gép maróorsójának üresjáratú teljesítményigénye
- az asztalelőtolás teljesítményigénye
- az asztalelőtolás üresjáratú teljesítmény igénye
- ellenőrzésre került a beállított fordulatszám és az asztalelőtolása

Ezekből a mért adatokból meghatározásra került a forgácsolás sebessége (v_c), a valós teljesítményigénye (P_c), a forgácsolási erő (F_c), és a fogankénti előtolás (f_z).

Szerszámgép:

A gép melyen a kísérlet elvégzésre került egy **UF221** típusú marógép, külön hűtőrendszerrel ellátva.

Beállítható asztalelőtolás értékek [m/perc]

9,8	12,5	16,5	19	25	33	39	50	66	78	100	125	157
198	250	313	397	500								

Orsófordulatszám értékek [1/perc]

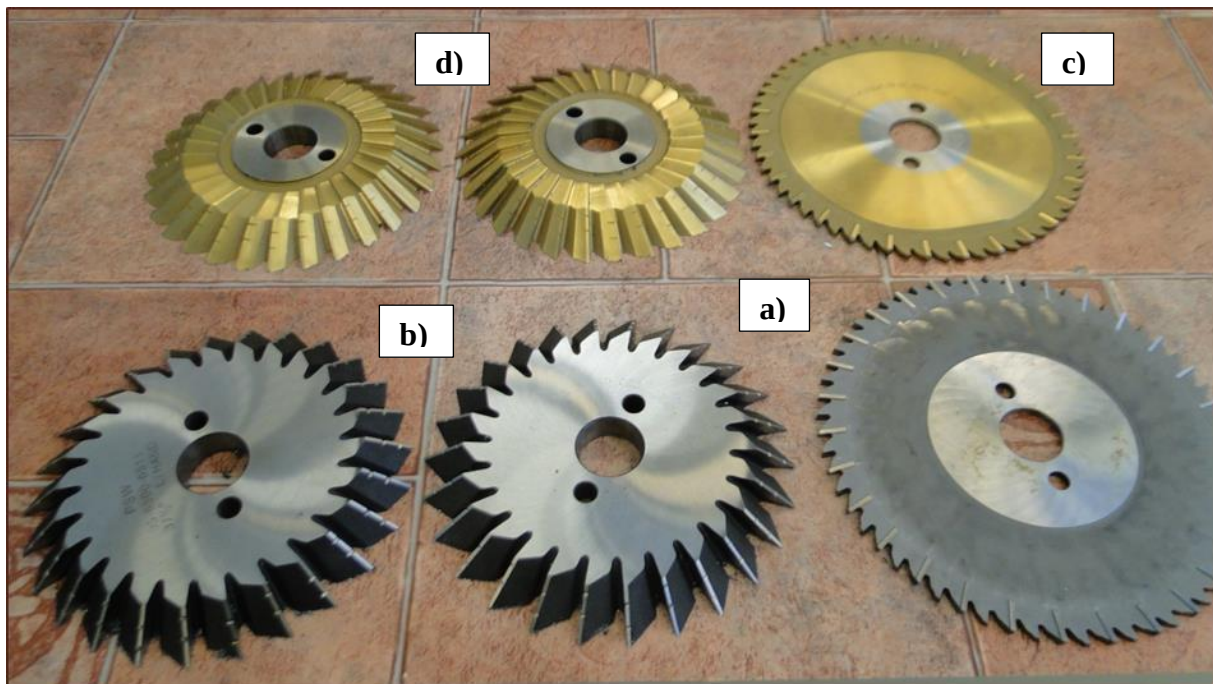
19	23	30	37	47	60	75	95	118	150	190	235	300
375	600	750	950	1180	1500							

Elektromos jellemzők:

- főorsó teljesítménye 9kW
- asztalt mozgató motor teljesítmény 1,8kW
- motorok fordulatszám 1400 1/perc
- áram háromfázisú váltakozó

Forgácsoló szerszámok, amelyek a kísérlet során felhasználásra kerültek:

Jelentős szerepe van a forgácsolási folyamatban a szerszámok megfelelő kiválasztásának. Szinte kizárólag bevonat nélküli gyorsacél (HS) szerszámokat alkalmaztak a gyakorlatban. A kísérleteket a bevonat nélküli gyorsacél szerszámok mellett, ugyan olyan alapanyagú és méretű de Titán-nitrid (TiN) bevonatú szerszámokkal is el lettek végezve. A szerszámok geometriája mérés során nem lettek módosítva.



14. ábra A marási kísérletek szerszámai

a) gyorsacél keresztfogazású tárcsamaró, b) gyorsacél szögmaró,
c) bevonatos, gyorsacél keresztfogazású tárcsamaró, d) bevonatos, gyorsacél szögmaró,

A marási kísérletek során alkalmazott szerszámok:

- 1 db keresztfogazású tárcsamaró; Ø212x4,8;
- 1 db szögmaró, jobbos; Ø183,5x16,45x37,5°
- 1 db szögmaró, balos; Ø183,5x16,45x37,5°
- 1 db keresztfogazású tárcsamaró TiN bevonattal; Ø212x4,8;
- 1 db szögmaró, jobbos TiN bevonattal; Ø183,5x16,45x37,5°
- 1 db szögmaró, balos TiN bevonattal; Ø183,5x16,45x37,5°

A felsorolt szerszámok anyagának jele:

- korábbi szabvány szerint: R6
- jelenleg érvényes MSZ EN ISO 4957 szabvány szerint: HS 6-5-2 (1.3339)

TiN bevonat fontosabb tulajdonságai:

- mikrokeménység: $HV_{0,25} = 2600$
- súrlódási tényező: $\mu = 0,5-0,6$ (acélon, szárazon)
- kritikus hőmérséklet: $Q_{krit} = 500^\circ$

Próbatestek

A próbatestek a mindennapokban használt olaj és gázvezetékek palástjából, a csövek középvonalán átmenő, azzal párhuzamos illetve merőleges síkokkal kimetszett palástfelületek voltak. A szerszámgépre való stabil befogás érdekében a cső tengelyére merőleges, párhuzamos síkok szükségesek. Ezeket vízsugaras vágással biztosítottuk. Ennek előnye, hogy nem okoz szövetszerkezeti átalakulást a munkadarabban.

Próbatestek jellemzői

1. táblázat

A cső	mérete [mm]	Ø324x10	Ø1000x18
A minta	mérete [mm]	210x300x10	500x300x18
	anyaga	P235	

5.1. Marás teljesítményigényének mérése

A mérés célja, hogy a jelenleg alkalmazott szerszámmal és forgácsolási paraméterekkel végzett marás esetén, meghatározzuk a tényleges forgácsolás teljesítményigényét. Választ tudjunk adni, hogy jobb forgácsolási tulajdonsággal rendelkező szerszám tulajdonságainak kihasználása a gyakorlatban milyen előnnyel vagy esetleg milyen hátránnyal járhat. Marás közben a maróorsó meghajtó és az asztalelőtolást biztosító villanymotorok teljesítményét mértük a forgácsolás teljesítményigényének meghatározása céljából. Majd megmértük az üresjáratú teljesítményt is hasonló módszerrel. A kettő különbsége a valós forgácsolási teljesítményt adja.

Mérés során felhasznált mérőműszerek:



a.)



b.)

15. ábra Mérőeszközök

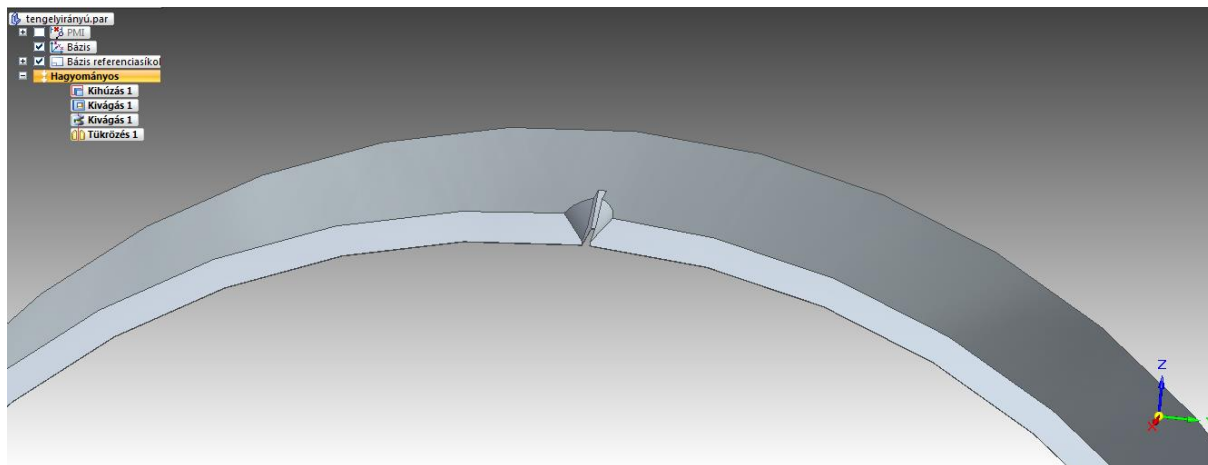
a.) C.A 8230 típusú egyenfázisú teljesítmény analizátor b.) NM93 lakatfogó

A mért eredményeket a 12.1-12.5 mellékletek táblázatai tartalmazzák.

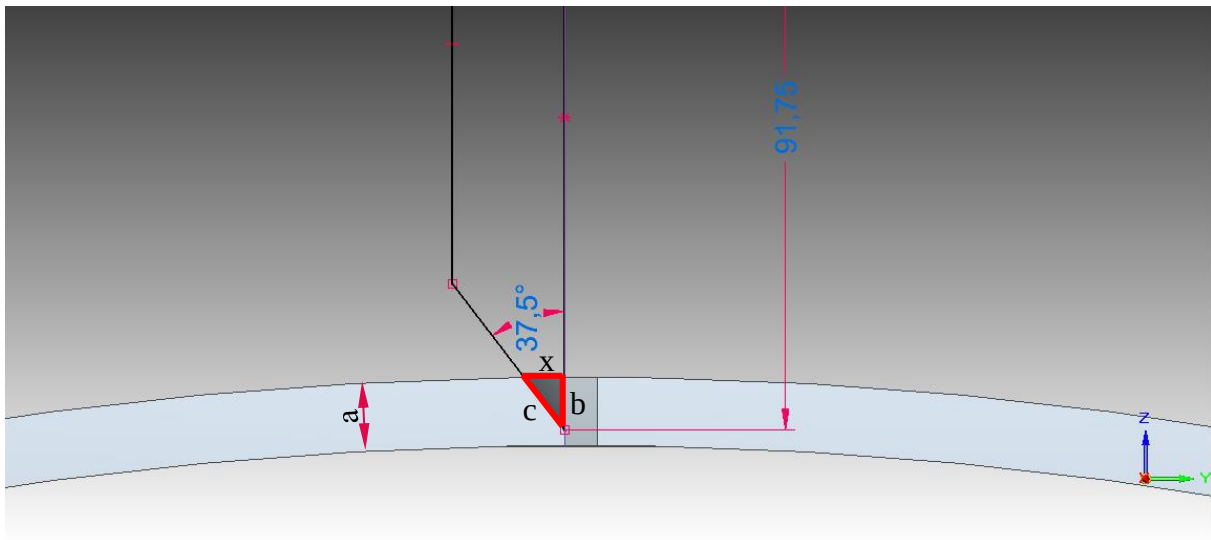
6. Tengelyirányú marás forgácsolási adatainak meghatározása modellezéssel

Solid Edge 3D-s tervező program segítségével készítettem több modellt, ami az adatok meghatározásához szükséges volt. Továbbá vizuálisan is láthatóvá váltak a felmerülő problémák, melyeket így már könnyen definiálni lehetett. Valamint kihasználtam azt a tulajdonságát a programnak, hogy egy megrajzolt modellnek minden méretét, a különböző geometriáknak (lapolások, üregek, ívek, felszínek) az elem információit ki tudja számolni és meg tudja jelelni számunkra.

Tengelyirányban végzett forgácsoláskor szükséges meghatározni a tárcsamaró és szögmaró által létrehozott forgács geometriáját, mivel a teljesítményszükséglet meghatározásához nélkülözhetetlen. Ehhez szükséges lesz a marószerszámok dolgozó szélességét és a fogásmélység nagyságát meghatározni. A tárcsamaró esetén nem jelent különösebb problémát, mivel a dolgozó szélesség az a tárcsamaró szélessége (4,8 mm), a fogásmélység pedig a cső falvastagsága lesz. A szögmaró esetében kissé bonyolultabb lesz a számítás. A maró által kialakított végleges gyök, háromszög keresztmetszetű, amit a 16. - 17. ábra szemléltet.



16. ábra Tengelyirányú marás modellje



17. ábra Tengelyirányú marás geometria viszonyai

Fontos, hogy tudjuk, milyen mélyen kell a csoportmarót „beleengedni” az anyagba, hogy a hegesztési varrat helye megfelelő méretben elkészüljön. Ne legyen túl kicsi se a hegesztési gyök, és fölöslegesen ne forgácsoljunk többet az anyagból. Ha nagyon beleengednénk az anyagba a csoportmarót, akkor nem csak a tárcsamaró által elkészített 4,8 mm széles vágási rés keletkezne, hanem még a szögmaró által kiforgácsolt rés is. Ez fölösleges teljesítményvesztés lenne, ezért kell pontosan meghatározni a bemerülés értékét, hogy csak annyi anyag legyen eltávolítva, amennyi a hegesztési gyökhöz szükséges. További előírás, hogy a hegesztési gyök ne teljes falvastagság mértékében készüljön el, hanem maradjon egy kb. 5 mm-es perem. Ez azért is szükséges, mert illesztésnél sem mindegy, hogy két hegyes felületet illesztünk össze, vagy van egy sík felület, amit könnyebben egymáshoz tudnak illeszteni hegesztés során. Hegesztés során pedig ez az 5 mm-es anyagvastagság átolvasztható, így nem jelent gondot a hegesztésre nézve.

A marótárcsák geometriájából könnyedén kiszámíthatjuk a bemerülés értékét. A tárcsamaró átmérője 212 mm, a szögmaró átmérője 183,5 mm. A két átmérő különbségének a fele 14,25 mm. Ahhoz, hogy 5 mm-es falvastagság maradjon, ahol csak a tárcsamaró dolgozik, ebből következik ($14,25 - 5 \text{ mm} = 9,25 \text{ mm}$), hogy a bemerülés értéke mindig az adott falvastagság + 9 mm. Egy példán bemutatva:

Csőátmérő: 600 mm

Falvastagság: 14 mm

Tárcsamaró szükséges bemerülés értéke: $14 + 9 = 23 \text{ mm}$

A gyakorlatban ezt úgy tudjuk meghatározni, hogy a marógépet ráhelyezzük a vágandó csőre, a csoportmarót elkezdjük közelíteni a csőhöz, majd mikor halljuk, hogy a tárcsamaró beleér az anyagba, (érintőt veszünk) ettől kezdve még 23 mm-t engedjük bele az anyagba. Ekkor fogjuk elérni a megfelelően kialakított hegesztési hornyot, és lesz kb. 5 mm széles illesztési perem. Következő képlettel a b oldal, vagyis a fogásmélység határozható meg:

$$b = a - 5,25 \text{ [mm]}$$

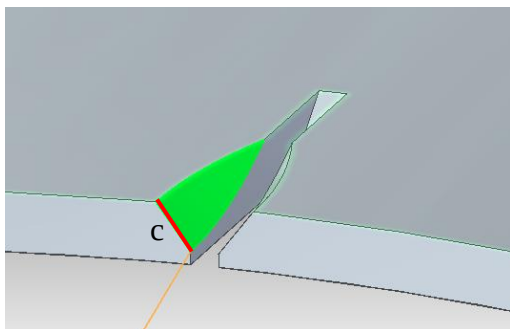
Fogásmélység meghatározása szögmaró esetében

Az 17. ábrán elgondolkodva láthatjuk, hogy a fogásmélység a „b” oldal nagysága lesz, mert ilyen mélységben kell elkészíteni a hegesztési gyököt. Ennek nagyságát az előbbieken leírt módon számíthatjuk.

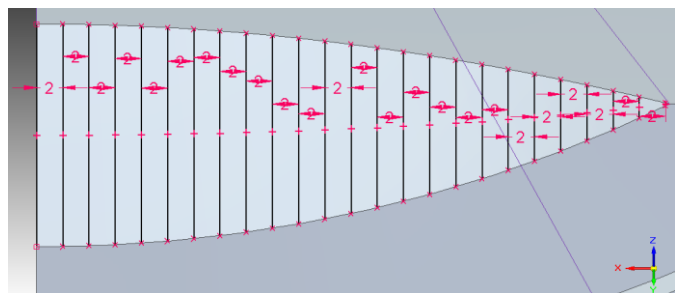
$$a_t = a - 5,25 \text{ [mm]}$$

Szögmaró dolgozó szélességének meghatározása

A marótárcsák esetén könnyen meghatározható a dolgozó szélessége, mivel a tárcsa teljes szélességében forgácsol. Ám az 18. ábra alapján látható, íves felületet forgácsolva, a szögmaró „c oldalhossz” szélességben forgácsol, de itt sem állandó szélességében („c hossz” nem végig állandó), hanem folyamatosan csökkenő szélességgel dolgozik. Emiatt szükséges meghatározni egy átlagos szélességet, ami mellett a szögmaró forgácsol.



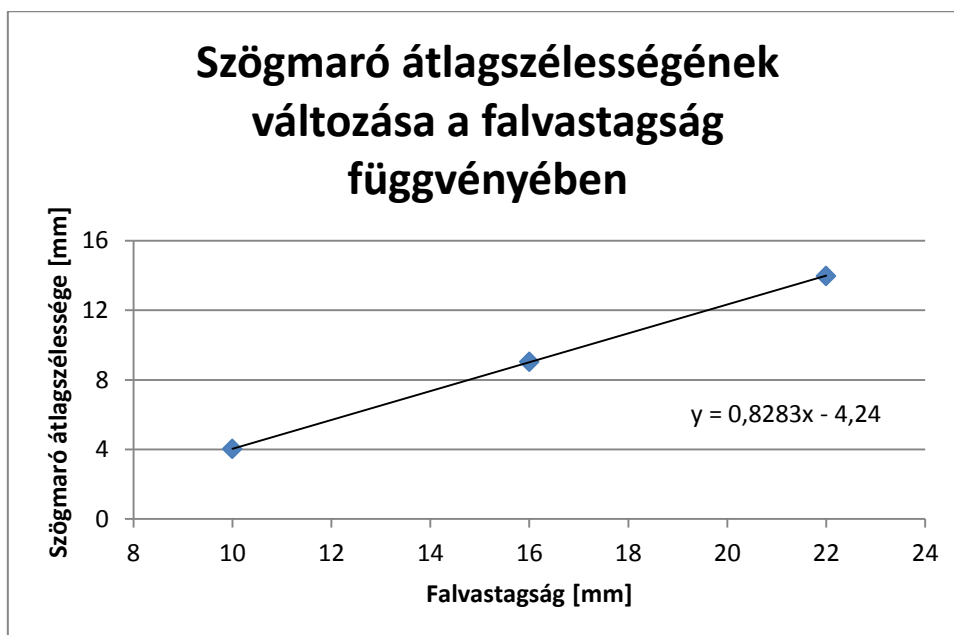
18. ábra Kezdeti forgácsolási szélesség



19. ábra Átlagszélesség meghatározása

Az átlagszélesség meghatározását úgy végeztem, hogy a 18. ábrán látható zöld területet, ami a szögmaró által forgácsolt felület, egy síkra terítettem ki, ami közel azonos az eredetivel, majd 2 milliméterenként behúztam a két alkotó távolságát. Ez a 19. ábrán látható. Majd ezeknek vettem az átlagát. Ezt három modellen végeztem el, majd ezt követően az eredményeket ábrázoltam egy diagramban. Erre illesztettem egy egyenest melynek az egyenlete látható a

diagramban. Ezzel az egyenlettel meghatározható az átlagos dolgozó szélessége a szögmarónak.



$$c_{\text{átl}} = 0,8283a - 4,24 \text{ [mm]}$$

Tengelyirányú maráskor, a csőátmérő változásával csak nagyon minimális eltérés mutatkozik a forgácsgeometriát tekintve, így ez el is hanyagolható. A falvastagság változásával azonban változik az ívhossz, amit a következő táblázat szemléltet.

2. táblázat

Falvastagság [mm]	Csőátmérő [mm]	
	300-1200	
	Tárcsamaró forgácsolási ívhossza (i_{tt}) [mm]	Szögmaró forgácsolási ívhossza (i_{tsz}) [mm]
10	20,47	29,62
12	23,89	35,39
14	27,17	40,37
16	30,33	44,84
18	33,38	48,93
20	36,33	52,73
22	39,2	56,3

Közepes forgácsvastagság meghatározása a tárcsamarónak

$$h_{ktt} = f_z \cdot \frac{a}{i_{tt}}$$

Ahol: f_z : fogankénti előtolás [mm/perc]

a : fogásmélység [mm]

i_{tt} : tárcsamaró forgácsolási ív hossza [mm]

Közepes forgácsvastagság meghatározása a szögmarónak

$$h_{ktsz} = f_z \cdot \frac{a}{i_{tsz}}$$

Ahol: f_z : fogankénti előtolás [mm/perc]

a : fogásmélység [mm]

i_{tsz} : szögmaró forgácsolási ív hossza [mm]

Egy fogra eső forgácsolási (F_{ctt1}) erő meghatározása tárcsamaró esetén

$$F_{ctt1} = k_c \cdot A_c = k_c \cdot h_{ktt} \cdot b$$

Ahol: k_c : fajlagos forgácsolóerő [N/mm^2] (1 mm^2 forgács leválasztásához szükséges erő)

A_c : átlagos forgácskeresztmetszet [mm^2]

h_{ktt} : közepes forgácsvastagság tárcsamarónál [mm]

b : tárcsamaró dolgozó szélessége [mm]

Egy fogra eső forgácsolási erő (F_{ctsz1}) meghatározása szögmaró esetén

$$F_{ctsz1} = k_c \cdot A_c = k_c \cdot h_{ktsz} \cdot c_{tatl}$$

Ahol: k_c : fajlagos forgácsolóerő [N/mm^2] (1 mm^2 forgács leválasztásához szükséges erő)

A_c : átlagos forgácskeresztmetszet [mm^2]

h_{ktsz} : közepes forgácsvastagság szögmarónál mm]

c_{tatl} : szögmaró átlagos dolgozó szélessége [mm]

A tárcsamaró főforgácsoló erő (F_{ctt}) meghatározása a kapcsolási szám (ψ_1) figyelembevételével:

$$F_{ctt} = \psi_1 \cdot F_{ctt1}$$

A szögmaró forgácsoló erő (F_{ctsz}) meghatározása a kapcsolási szám (ψ_2) figyelembevételével:

$$F_{ctsz} = 2 \cdot \psi_2 \cdot F_{ctsz1}$$

Összes forgácsoló erő (F_{ct}) meghatározása:

$$F_{ct} = F_{ctt} + F_{ctsz}$$

Az összes forgácsoló erő ismeretében a csoportmaró forgatásához szükséges tiszta forgácsolási teljesítmény:

$$P_c = \frac{F_{ct} \cdot v_c}{60 \cdot 1000} [\text{kW}]$$

A mellékletek 12.6-os táblázata tartalmazza egy meghatározott fordulatszámhoz és előtoláshoz tartozó teljesítményigényt tengelyirányú maráshoz.

Fordulatszám 120 fordulat/perc, előtolás (asztalelőtolás) 8 mm/perc

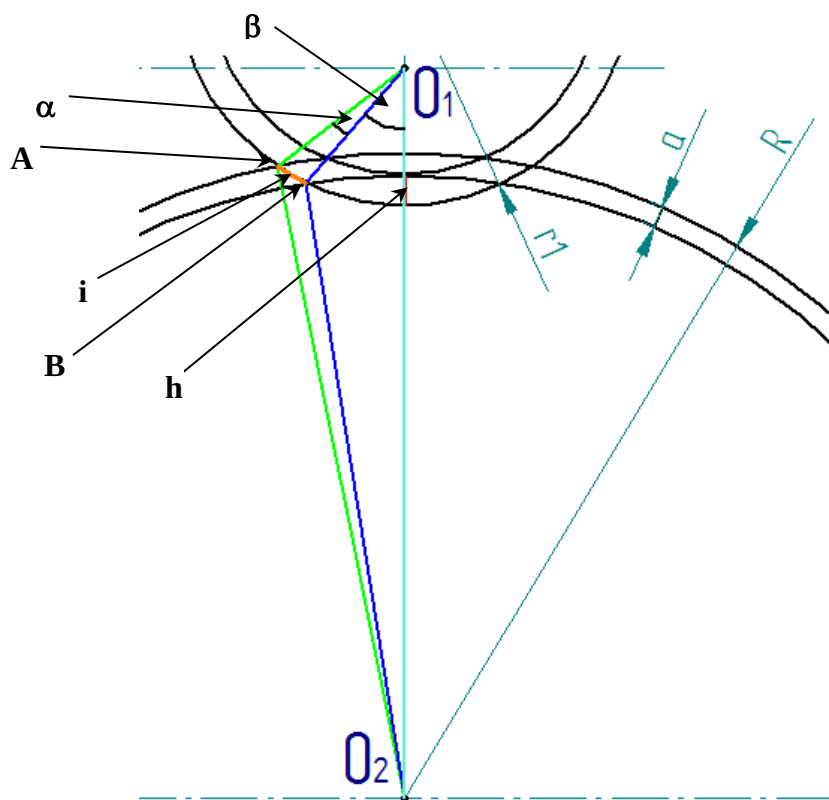
A következő táblázat a Forgácsoláshoz szükséges teljesítményt mutatja a falvastagság függvényében, amely 12.6-os mellékletből van kivéve.

3. táblázat

Teljesítményigény meghatározása a falvastagság függvényében	
Falvastagság [mm]	Forgácsoláshoz szükséges teljesítmény [W]
10	219
12	331
14	465
15	540
16	620
18	795
20	991
22	1207

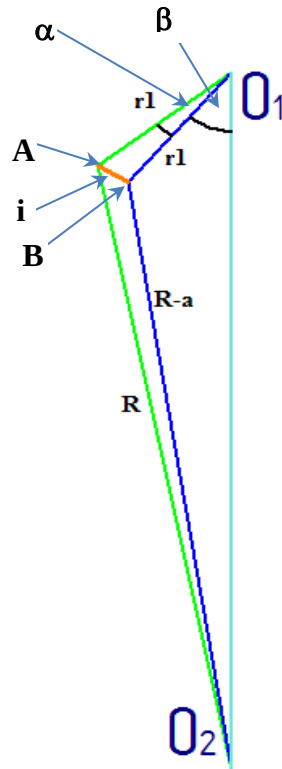
7. Sugárirányú marás matematikai összefüggései

Matematikai oldalról közelítve próbáljuk előbb meghatározni, hogy milyen hosszú lesz a cső vágásánál a tárcsamaró és az anyag kapcsolódási vonal hossza, vagyis a forgácsolási ívhossz (i). Ugyanis később ennek ismeretéből tudjuk meghatározni a maráshoz szükséges teljesítményt. Ehhez készítettem egy vázlatot, amiből láthatók a geometriai összefüggések:



20. ábra Geometriai viszonyok

Az ábra alapján külön kirajzoltam a két háromszöget, majd ezekben írtam fel szögfüggvényeket, és próbáltam meghatározni az alfa szögben látszódo „ i ” szakaszt.



21. ábra 20. ábrából kiemelt geometriai viszonyok

Az ívhossz (i) egyszerűen meghatározható, ha ismerjük az α szöget. Ennek ismeretében a következő egyenletre lesz szükségünk.

$$i = \alpha \cdot r_1$$

Az O_1O_2 távolság a következőképpen határozható meg:

$$O_1O_2 = R + r_1 - (a + h)$$

Ezek után először az O_1O_2A háromszögben írtam fel a koszinusz tételt, ezt jelöltem ①-el, majd ezt követően O_1O_2B háromszögben írtam fel a koszinusz tételt, ezt ②-el jelöltem.

$$\textcircled{1} \quad R^2 = r_1^2 + (R+r_1-a-h)^2 - 2r_1(R+r_1-a-h) \cdot \cos(\alpha+\beta)$$

$$\textcircled{2} \quad (R-a)^2 = r_1^2 + (R+r_1-a-h)^2 - 2r_1(R+r_1-a-h) \cdot \cos\beta$$

Két egyenletet kivonjuk egymásból, az egyszerűsítés miatt:

$$\textcircled{1} - \textcircled{2} \quad R^2 - (R-a)^2 = 2r_1(R+r_1-a-h) \cdot (\cos\beta - \cos(\alpha+\beta))$$

$$2Ra+a^2 = 2r_1(R+r_1-a-h) \cdot (\cos\beta - (\cos\alpha \cdot \cos\beta - \sin\alpha \cdot \sin\beta))$$

Ha $a \ll R$ (sokkal kisebb), akkor fennállhat a következő egyenlőtlenség is, hogy $\alpha \ll \beta$, ezért a következő egyenletet alkalmazhatjuk, ami arról szól, hogy a két szög összegének a koszinusza, az közel megegyezik az α ponthoz húzott érintő egyenletével.

Tehát,

$$\cos(\beta+\alpha) \approx \cos\beta - \sin\beta \cdot (\beta+\alpha-\beta) = \cos\beta - \alpha \cdot \sin\beta$$

$$\cos\beta - \cos(\alpha+\beta) \approx \alpha \cdot \sin\beta$$

$$\textcircled{1} \cdot \textcircled{2} \quad R^2 - (R-a)^2 = 2r_1 (R+r_1-a-h) \cdot (\cos\beta - \cos(\alpha+\beta)) \rightarrow (\cos\beta - \cos(\alpha+\beta)) = \frac{R^2 - (R-a)^2}{2r_1 (R+r_1-a-h)}$$

$$\textcircled{3} \quad \alpha = \frac{R^2 - (R-a)^2}{2r_1 (R+r_1-a-h)} \cdot \frac{1}{\sin\beta}$$

Pitagoraszsi összefüggés

$$\sin^2\beta + \cos^2\beta = 1 \rightarrow \sin\beta = \sqrt{1 - \cos^2\beta}$$

A $\textcircled{2}$ egyenletből ki kell fejezni a $\cos\beta$ -t, majd a pitagoraszsi összefüggés $\sin\beta$ -ra kifejezett tagjába behelyettesíteni.

$$\textcircled{2} \quad (R-a)^2 = r_1^2 + (R+r_1-a-h)^2 - 2r_1(R+r_1-a-h) \cdot \cos\beta \rightarrow \cos\beta = \frac{r_1^2 + (R+r_1-a-h)^2 - (R-a)^2}{2r_1(R+r_1-a-h)}$$

Behelyettesítve a Pitagoraszsi összefüggés $\sin\beta$ -ra kifejezett tagjába:

$$\sin\beta = \sqrt{1 - \left(\frac{r_1^2 + (R+r_1-a-h)^2 - (R-a)^2}{2r_1(R+r_1-a-h)} \right)^2}$$

Az így kapott egyenlőségben már csak az ismert tagok szerepelnek, így a $\textcircled{3}$ egyenletbe behelyettesítve, megkaphatjuk az α értékét.

$$\textcircled{3} \quad \alpha = \frac{R^2 - (R-a)^2}{2r_1 (R+r_1-a-h)} \cdot \frac{1}{\sin\beta} = \frac{R^2 - (R-a)^2}{2r_1 (R+r_1-a-h)} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{r_1^2 + (R+r_1-a-h)^2 - (R-a)^2}{2r_1(R+r_1-a-h)} \right)^2}}$$

$$\alpha = \frac{R^2 - (R-a)^2}{2r_1 (R+r_1-a-h)} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{r_1^2 + (R+r_1-a-h)^2 - (R-a)^2}{2r_1(R+r_1-a-h)} \right)^2}}$$

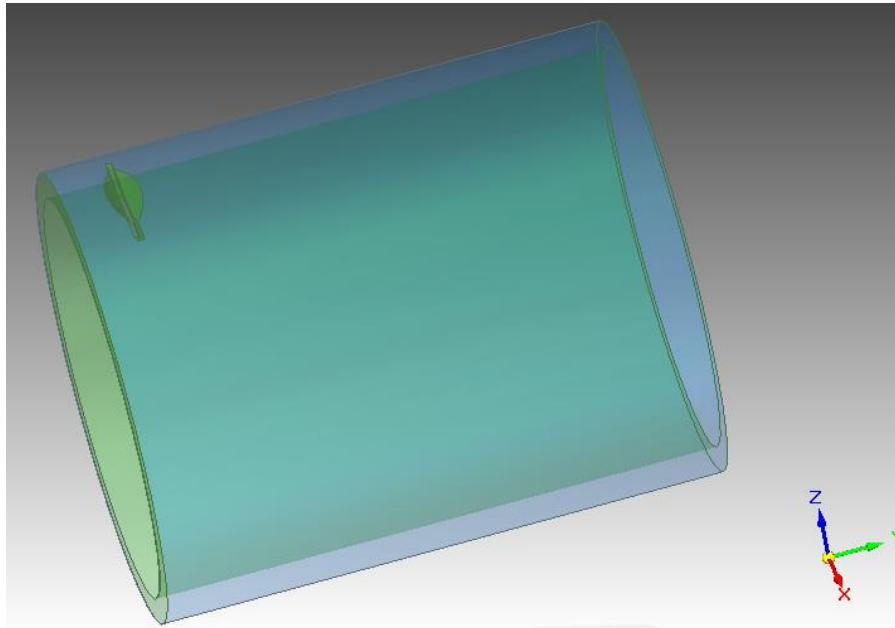
Az alfa érték meghatározása után, könnyedén számíthatjuk a forgácsolási ívhosszt, mivel a korábbiakban leírt összefüggés a következő:

$$i = \alpha \cdot r_1 = \frac{R^2 - (R-a)^2}{2r_1 (R+r_1-a-h)} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{r_1^2 + (R+r_1-a-h)^2 - (R-a)^2}{2r_1(R+r_1-a-h)} \right)^2}} \cdot r_1$$

r_1 értéke állandó, mivel a tárcsamaró átmérőjét a gyakorlatban nem változtattuk így a sugár is állandó értékű marad.

8. Sugárirányú marás forgácsolási adatainak meghatározása modellezéssel

Egy cső marása során, ha a szerszámgép körbemegy a cső felületén, ív menti megmunkálásról beszélünk. Szakirodalomban eddig csak sík felületek megmunkálására találtunk forgácsolási képleteket. Jelen esetben a csőmarógép a cső palástfelületén halad, tehát ív mentén történik a forgácsolás. Ehhez az ív mentén történő megmunkáláshoz kell meghatározni a forgácsolási paramétereket.



22. ábra Sugárirányú marás szimulációja

A tárcsamaró és a szögmaró geometriája megegyezik a tengelyirányban már bemutatottakkal, így a csoportmaró bemerülési mértéke is teljesen megegyezik, a tengelyirányban végzett marás során ismertetett módszerrel.

Célom, itt is a vágáshoz szükséges teljesítmények meghatározása, változó átmérőjű és falvastagságú csövekhez. Ehhez szintén szükséges a marószerszámok dolgozó szélességét és a fogásmélység nagyságát meghatározni. A tárcsamaró esetén itt sem jelent különösebb problémát a meghatározás, mivel a dolgozó szélesség az a tárcsamaró szélessége (4,8 mm), a fogásmélység pedig a cső falvastagsága lesz. A szögmaró esetén már nem ilyen egyszerű a dolog.

Kihasználva a Solid Edge mérési tulajdonságát, meg tudtam határozni a különböző átmérőjű és falvastagságú csövekhez tartozó forgácsolási ív hosszát. Először egy paramétert, a csőátmérőt változtattam, a falvastagságot állandónak hagytam. Majd így néztem meg, hogy a csőátmérő függvényében, hogyan változik a forgácsolási ív hossza.

4. táblázat

Csőátmérő [mm]	Falvastagság [mm]	Tárcsamaró átmérő [mm]	Tárcsamaró szélessége [mm]	Forgácsolási ívhossz [mm]
300	10	212	4,8	16,15
324	10	212	4,8	16,37
400	10	212	4,8	16,95
500	10	212	4,8	17,51
600	10	212	4,8	17,91
700	10	212	4,8	18,21
800	10	212	4,8	18,45
900	10	212	4,8	18,64
1000	10	212	4,8	18,8

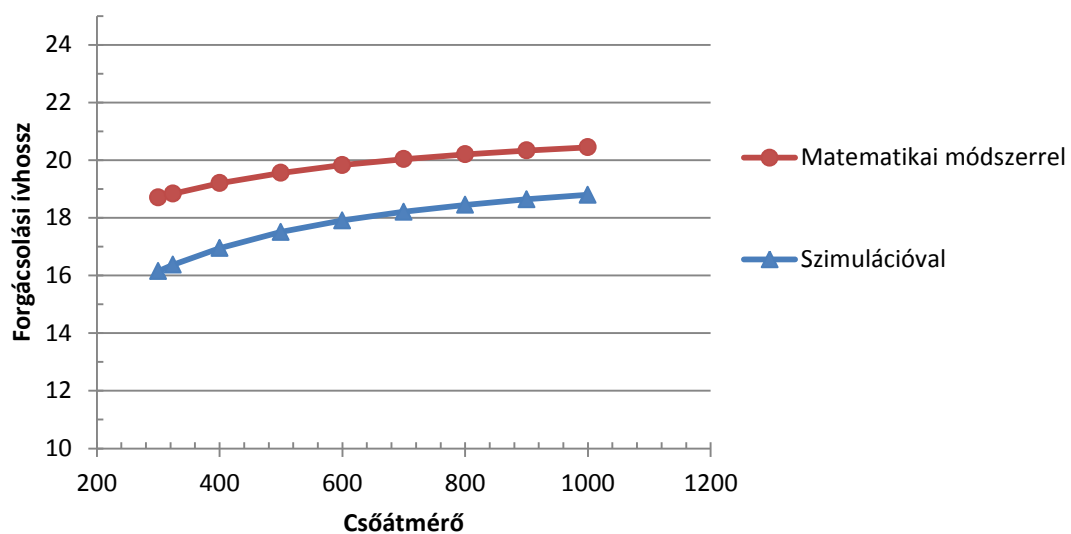
Ezeket az értékeket összehasonlítottam, a matematikai módon meghatározott eredményekkel. A következő táblázat a matematika módszerrel meghatározott forgácsolási ívhosszt mutatja a csőátmérő függvényében.

5. táblázat

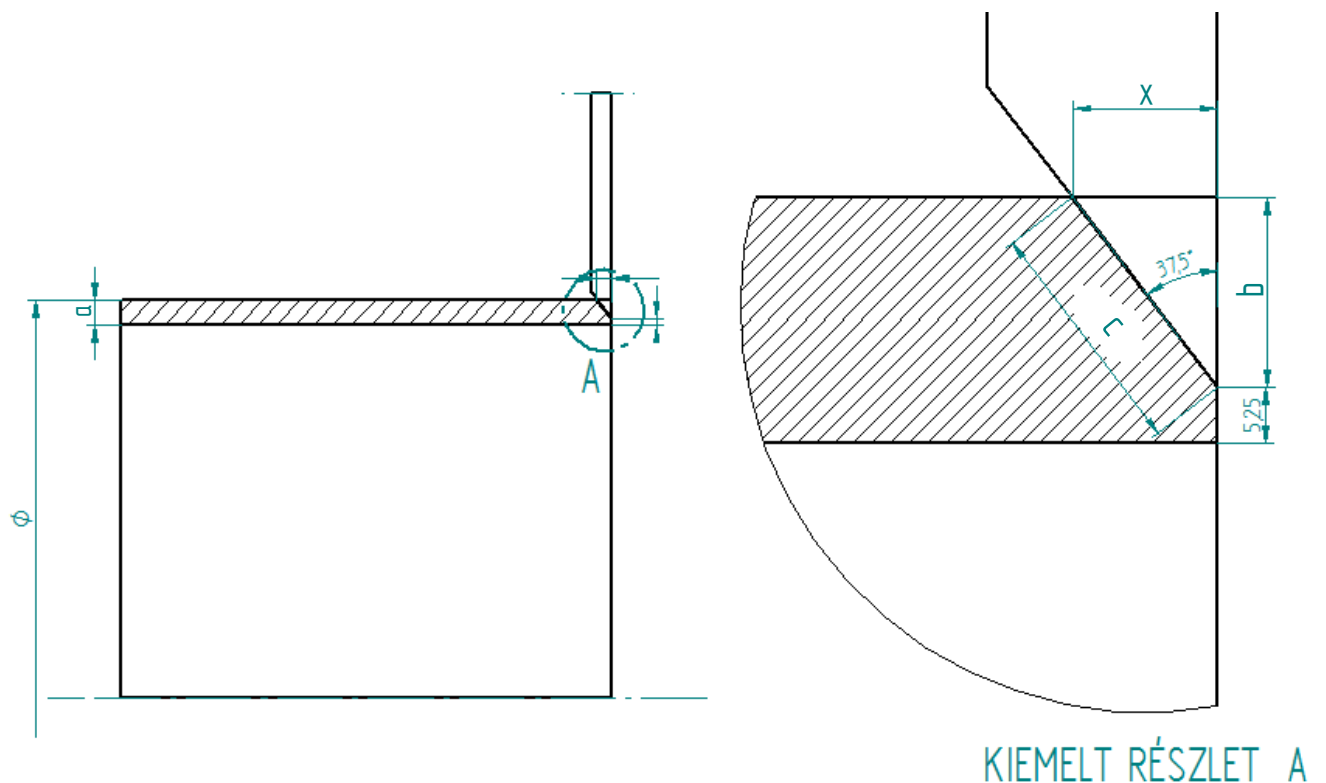
Csőátmérő [mm]	Falvastagság [mm]	Tárcsamaró átmérő [mm]	Tárcsamaró szélessége [mm]	Forgácsolási ívhossz [mm]
300	10	212	4,8	18,70
324	10	212	4,8	18,83
400	10	212	4,8	19,20
500	10	212	4,8	19,56
600	10	212	4,8	19,82
700	10	212	4,8	20,04
800	10	212	4,8	20,20
900	10	212	4,8	20,34
1000	10	212	4,8	20,44

A következő diagram az elméleti matematikai összefüggésekkel számított és a program által meghatározott eredményeket mutatja, közös koordinátarendszerben.

Forgácsolási ívhossz változása a csőátmérő függvényében 10 mm falvastagság esetén



Szögmaró által keletkező forgács geometriájának meghatározása



23. ábra Szögmaró által készített horony

Fogásmélység meghatározása a szögmaró esetében

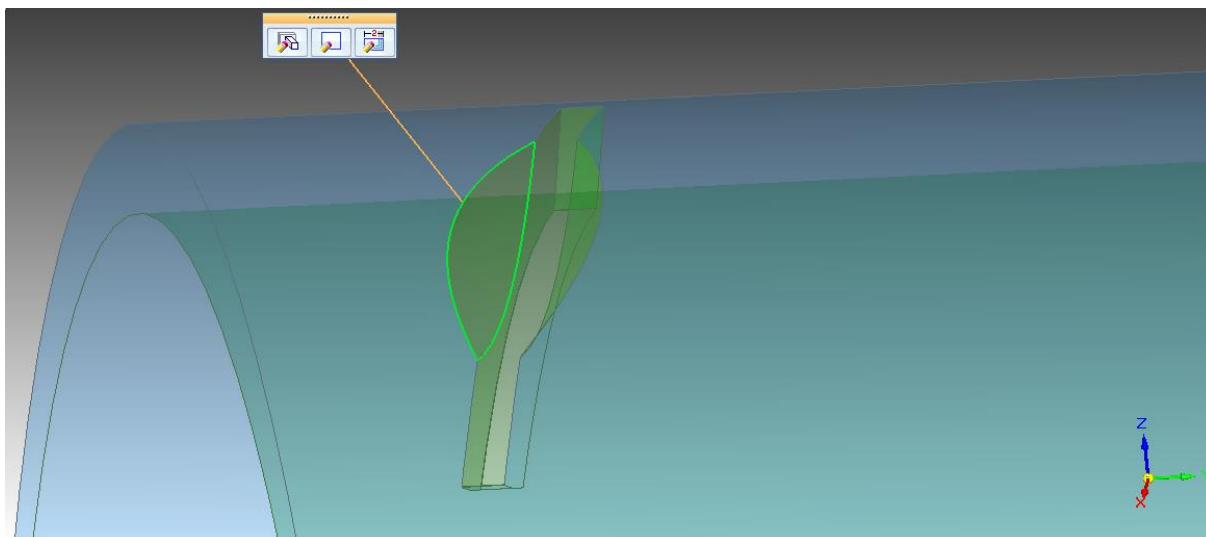
Szögmaró esetében sem lesz másabb a fogásmélység meghatározása, mint tengelyirányban történt maráskor már meghatározott módon. Tehát a b oldal nagysága lesz a fogásmélység nagysága, mivel ilyen mélységben kell elkészíteni a hegesztési gyököt. Ezt szemlélteti a 23. ábra. Ez a következőképpen számítható:

$$a_r = a - 5,25 \text{ [mm]}$$

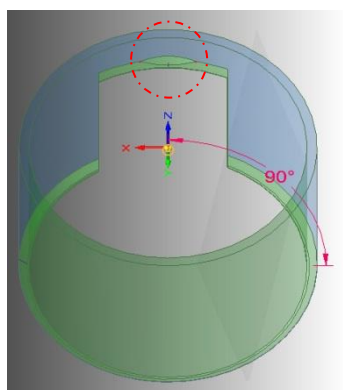
Szögmaró dolgozó szélességének meghatározása

A 24. ábra alapján látható, íves felületet forgácsolva, a szögmaró nem állandó, hanem folyamatosan csökkenő szélességgel dolgozik. Ez miatt szükséges meghatározni egy átlagos szélességet, ami mellett a maró forgácsol. Ezt is a tengelyirányban végzett módszer szerint számíthatjuk, mert csak kis mértékű eltérés tapasztalható, ami a teljesítményben 4-5 Wattot jelent. Így az egyenlet a következő:

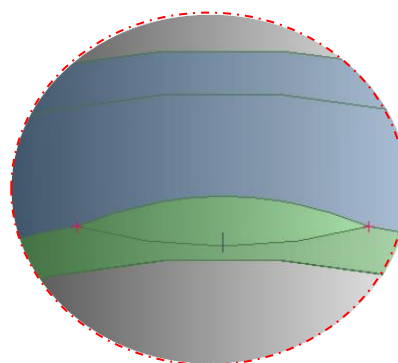
$$c_{r\text{átl}} = 0,8283a - 4,24 \text{ [mm]}$$



24. ábra Szögmaró által kialakított felület



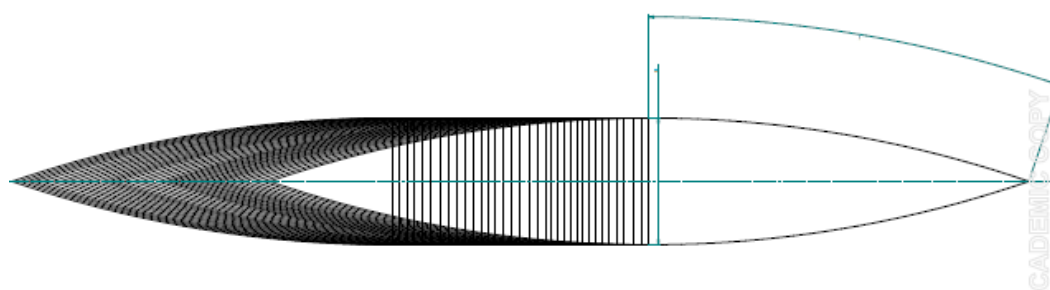
a.)



b.)

25. ábra Szögmaró forgácsolt felülete, a felületre merőleges nézetben

a.) Távoli nézet b.) Nagyított nézet



26. ábra Forgácsolt felület alakulása

A mellékletek 12.7-es és 12.8-as táblázata tartalmazza a különböző átmérőjű és falvastagságú csövekhez tartozó forgácsoló ív hosszát, tárcsamaró és szögmaró marása során.

Közepes forgácsvastagság meghatározása a tárcsamarónak

$$h_{krt} = f_z \cdot \frac{a}{i_{rt}} \text{ [mm]}$$

Ahol: f_z : fogankénti előtolás [mm/perc]

a : fogásmélység [mm]

i_{rt} : tárcsamaró forgácsolási ív hossza [mm]

Közepes forgácsvastagság meghatározása a szögmarónak

$$h_{krsz} = f_z \cdot \frac{a}{i_{rsz}} \text{ [mm]}$$

Ahol: f_z : fogankénti előtolás [mm/perc]

a : fogásmélység [mm]

i_{rsz} : szögmaró forgácsolási ív hossza [mm]

Egy fogra eső forgácsolási (F_{crt1}) erő meghatározása tárcsamaró esetén

$$F_{crt1} = k_c \cdot A_c = k_c \cdot h_{krt} \cdot b \text{ [mm]}$$

Ahol: k_c : fajlagos forgácsolóerő [N/mm²] (1 mm² forgács leválasztásához szükséges erő)

A_c : átlagos forgácskeresztmetszet [mm²]

h_{krt} : közepes forgácsvastagság tárcsamarónál [mm]

b : tárcsamaró szélessége [mm]

Egy fogra eső forgácsolási erő (F_{crsz1}) meghatározása szögmaró esetén

$$F_{crsz1} = k_c \cdot A_c = k_c \cdot h_{krsz} \cdot c_{rátl} \text{ [mm]}$$

Ahol: k_c : fajlagos forgácsolóerő [N/mm²] (1 mm² forgács leválasztásához szükséges erő)

A_c : átlagos forgácskeresztmetszet [mm²]

h_{krsz} : közepes forgácsvastagság szögmarónál [mm]

$c_{rátl}$: szögmaró átlagos dolgozó szélessége [mm]

A tárcsamáró főforgácsoló erő (F_{crt}) meghatározása a kapcsolási szám (ψ_1) figyelembevételével:

$$F_{crt} = \psi_1 \cdot F_{crt1} \text{ [N]}$$

A szögmaró forgácsoló erő (F_{crsz}) meghatározása a kapcsolási szám (ψ_2) figyelembevételével:

$$F_{crsz} = 2 \cdot \psi_2 \cdot F_{crsz1} \text{ [N]}$$

Összes forgácsoló erő (F_{ct}) meghatározása:

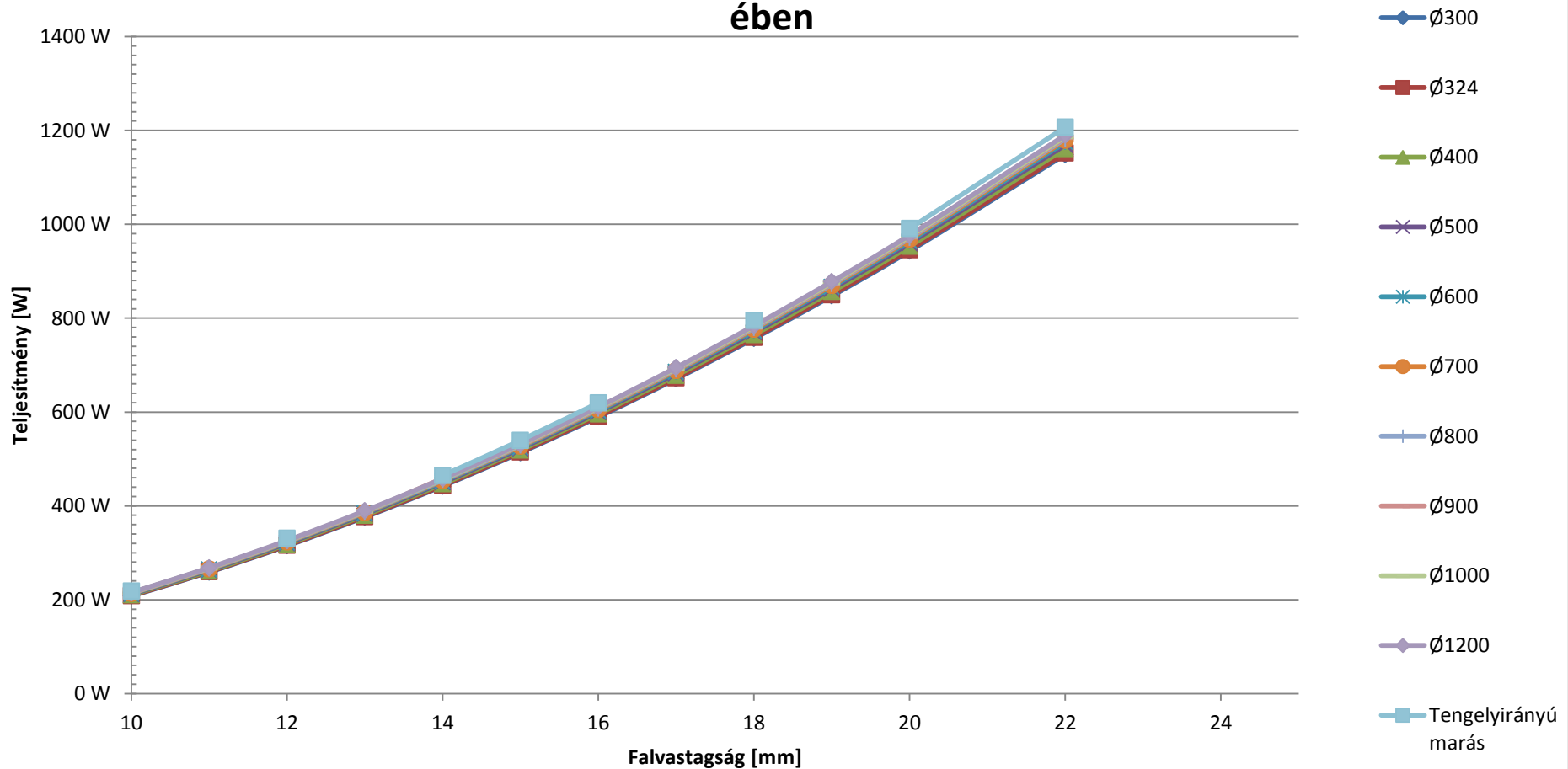
$$F_{cr} = F_{crt} + F_{crsz} \text{ [N]}$$

Az összes forgácsoló erő ismeretében a csoportmaró forgatásához szükséges tiszta forgácsolási teljesítmény:

$$P_c = \frac{F_{cr} \cdot v_c}{60 \cdot 1000} \text{ [kW]}$$

A következő diagram a sugárirányban történt marás teljesítményszükségletét ábrázolja a különböző csőátmérőknek, a cső falvastagságának függvényében. Látható még a diagramban a tengelyirányban történt megmunkálás teljesítményigénye is. Ezek az eredmények egy adott fordulatszámhoz és előtolás értékhez tartoznak, de megállapíthatom, hogy ezek változtatásával hasonló tendenciát fog mutatni a Teljesítményigény diagram.

Teljesítményigény különböző átmérőjű csövek esetén a falvastagság fv.-ében



9. Kutatási eredmények összefoglalása

Dolgozatomban a következőket határoztam meg:

- tengelyirányú marás forgácsolási adatait modellezéssel,
- a sugárirányú marás forgácsolási adatait modellezéssel,
- a sugárirányú marás forgácsolási adatait matematikai módszerrel,
- összehasonlítottam a matematikai módszerrel számított és a szimuláció adatait.

Ezek után elmondható, hogy a tengelyirányban számított marás forgácsolási adatok meghatározásakor, az átmérő változtatással nem történt jelentősebb eltérés a teljesítményfelvételben, így ez elhanyagolható. Sugárirányban végzett marás számítása során valamivel nagyobb eltérés mutatkozott az átmérő változtatásával, de ez sem jelentősebb. Összehasonlítottam a sugárirányban történő marás során a szimulációval kapott eredményeket, a matematikai összefüggésekkel meghatározott eredményekkel, amiből azt a következtetés vonható le, hogy a kétfajta módszer eredménye között állandó, kb. 12% eltérés van, amely indokolható a matematikában használt feltételekkel.

Összefoglalva tehát elmondhatom, hogy a tengelyirányban végzett laboratóriumi kísérletek eredményei alkalmazhatók, a valós körülmények között üzemeltetett berendezésnél. Így egy ismert bemenő teljesítmény esetén, meghatározható a maximálisan elérhető haladási sebesség.

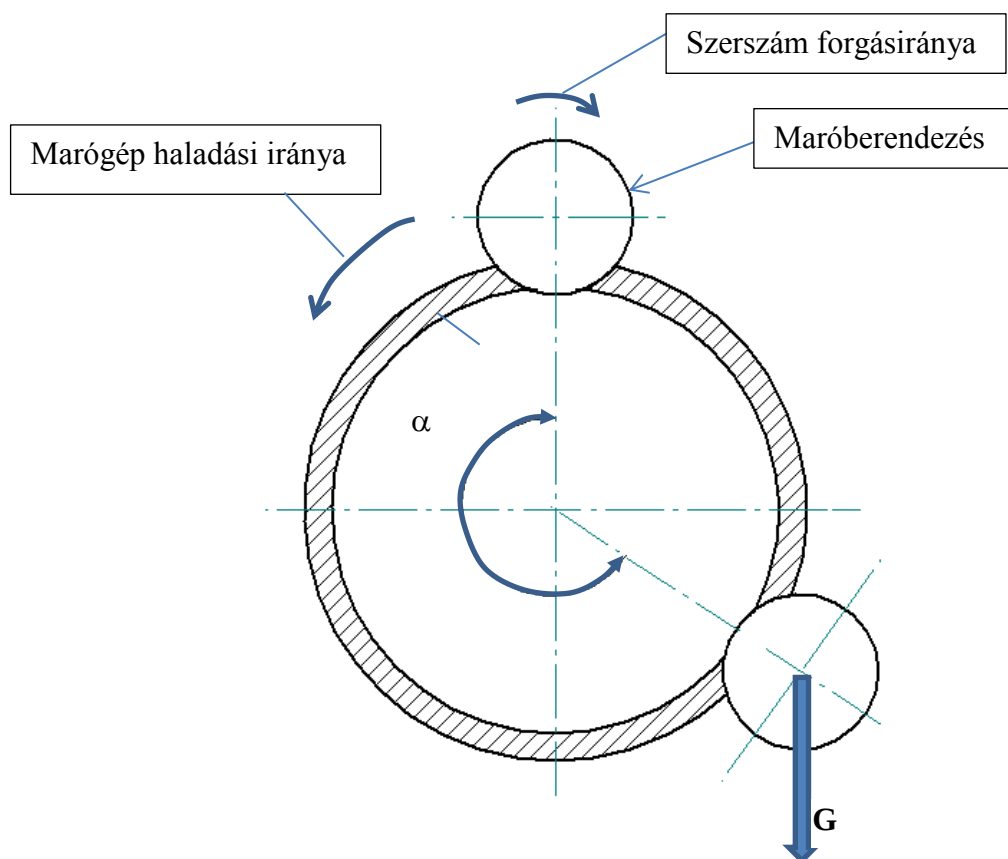
10. Kutató munka további céljai

Továbbiakban kitűzött céljaim:

- a berendezés tömegcsökkentés lehetőségeinek megvizsgálása,
- a gyakorlatban alkalmazható beállítási adatok meghatározása a vágandó cső és az alkalmazott szerszám tulajdonságainak függvényében.

A berendezés tömegcsökkentése két szempontból is fontos. Egyrészt, üzembe helyezés-kor a gyakorlatban a csőre való felhelyezés-kor nem mindegy mekkora tömeget kell megemelni.

Másrészt a vágás során, amikor a berendezés felfele halad, ott sem mindegy, hogy mekkora erőt kell „megemelni”, mivel a mozgatáshoz teljesítményre van szükség, így ha könnyebb, akkor kevesebb teljesítményre van szükség, több fordítható marásra.



27. ábra Sugárirányú vágás mozgásviszonya

11. Összefoglalás

A gáz- és olajvezetékek építése napjaink kiemelt feladata. Az üzemeltetők gyakori feladata a hibás, megsérült vezetékszakasz cseréje. Ezekhez a munkákhoz mobil megmunkáló berendezésre van szükség.

TDK dolgozatom célja volt, hogy meghatározzam, mekkora teljesítmény szükséges ív mentén történő forgácsoláskor. Ennek ismeretében meghatározható a maximálisan elérhető haladási sebesség. Szakirodalomban eddig kizárólag csak sík felületek megmunkálásával találkozhattunk. Cső esetében, ív mentén történő megmunkálásról beszélünk.

Dolgozatomban először áttekintettem a marással kapcsolatos szakirodalmat, mivel ív mentén történő marásra nem találtam megfelelő szakirodalmat, így az általános marás forgácsolási és mozgás viszonyait tekintettem át, ezen belül is a palástmarását, mivel ez hasonlít leginkább ehhez a megmunkáláshoz. Mivel a gyakorlati körülmények között nem tudtunk mérni, így a mindennapokban használt olaj-és gázvezetékek palástjából kimetszett palástfelületeken, tengelyirányban marva történtek a mérések. Azt kellett meghatároznom, hogy milyen eltérés van, ha tengelyirányban marunk, a gyakorlatban történő sugárirányú maráshoz képest. Milyen eltérések vannak különböző átmérőjű és falvastagságú csövek esetén. Ehhez modellezéssel, Solid Edge program segítségével meghatároztam mind tengelyirányban, mind pedig sugárirányban a forgácsolási adatokat, különböző átmérőjű és falvastagságú csövek esetében. Ezek után matematikai módszerrel is meghatároztam a forgácsolási paramétereket, majd megnéztem, milyen eltérés van a modellezéssel és a matematikai módszerrel számított eredmények között.

A kutatási eredményeket összefoglalva megállapítható, hogy tengelyirányban végzett marás során a csőátmérő változtatásával minimális eltérés mutatkozik, így ez elhanyagolható. Valamivel nagyobb eltérés mutatkozott a sugárirányban történő marás során, a csőátmérő függvényében. Ezek miatt megállapítható, hogy a laboratóriumban, tengelyirányban végzett kísérletek eredményei, egy az egyben alkalmazhatók a valós körülmények között, így egy ismert bemenő teljesítmény esetén meghatározható a maximálisan elérhető haladási sebesség.

További céljaim a berendezés tömegcsökkentés-lehetőségeinek megvizsgálása, valamint a gyakorlatban alkalmazható beállítási adatok meghatározása a vágandó cső és az alkalmazott szerszám tulajdonságainak függvényében.

12. Felhasznált irodalom

- [1.] Dudás Illés: Gépgyártás-technológia I., A gépgyártástechnológia alapjai, Miskolc, Miskolci Egyetemi Kiadó, 2002.
- [2.] Kulcsár Tamás Dr.: Gépipari technológiai ismeretek, Pannon Egyetem, 2012.
- [3.] Szabó László Dr.: Forgácsolás, hegesztés, Miskolc, 2000.
- [4.] Szmejkál Attila Dr., – Ozsváth Péter: Járműszerkezeti anyagok és Megmunkálások II. 2007-2008.
- [5.] http://www.sandvik.coromant.com/hu-hu/knowledge/milling/formulas_and_definitions/the_milling_process/pages/default.aspx
- [6.] http://www.sandvik.coromant.com/hu-hu/knowledge/milling/formulas_and_definitions/formulas/pages/default.aspx

12. Mellékletek

12.1. melléklet

Próbatest:			Ø324x10 műanyag bevonattal													
Szerszámgép:			UF221 vízszintes tengelyű marógép													
Szerszámok:			Keresztfogazású tárcsamaró Ø212x4,8, HSS 6-5-2													
			Szögmaró Ø183,5x37,5°, jobbos, HSS 6-5-2													
			Szögmaró Ø183,5x37,5°, jobbos, HSS 6-5-2													
Mérőeszköz:			Hálózati analizátor CA8230													
Jel	szerszám átmérő: D [mm]		Fogsám: z		Fordulatszám: n [1/perc]	Előtolás:v _f [mm/perc]	Teljesítmény P [W]			Fogankénti előtolás:f _z [mm/fog]		Forgácsolási sebes- ség:v _c [m/perc]			Forgácsolási erő: F _c [N]	
	D1	D2	z1	z2			Pc	Pc _ö	Pc _ü	fz1	fz2	vc1	vc2	vcátl	Fce	Fc
1	212	183,5	60	26	60	12,5	237	921,6	685	0,003	0,008	39,94	35	37	327	355
2	212	183,5	60	26	60	25	466	1151	685	0,007	0,016	39,94	35	37	643	700
3	212	183,5	60	26	60	33	446	1131	685	0,009	0,021	39,94	35	37	615	669
4	212	183,5	60	26	60	50	840	1525	685	0,014	0,032	39,94	35	37	1160	1262
5	212	183,5	60	26	60	78	1106	1791	685	0,022	0,050	39,94	35	37	1528	1662
6	212	183,5	60	26	75	33	585	1284	699	0,007	0,017	49,93	43	47	646	703
7	212	183,5	60	26	75	50	910	1609	699	0,011	0,026	49,93	43	47	1005	1094

12.2. melléklet

Próbatest:			Ø324x10 műanyag bevonat nélkül													
Szerszámgép:			UF221 vízszintes tengelyű marógép													
Szerszámok:			Keresztfogazású tárcsamaró Ø212x4,8, HSS 6-5-2 + TiN bevonat													
			Szögmaró Ø183,5x37,5°, jobbos, HSS 6-5-2 + TiN bevonat													
			Szögmaró Ø183,5x37,5°, jobbos, HSS 6-5-2 + TiN bevonat													
Mérőeszköz:			Hálózati analizátor CA8230													
Jel	szerszám átmérő: D [mm]		Fogszám: z		Fordulatszám: n [1/perc]	Előtolás:v _f [mm/perc]	Teljesítmény P [W]			Fogankénti előtolás:f _z [mm/fog]		Forgácsolási sebes- ség:v _c [m/perc]			Forgácsolási erő: F _c [N]	
	D1	D2	z1	z2			Pc	Pcö	Pcü	fz1	fz2	vc1	vc2	vcátl	Fce	Fc
1	212	183,5	60	26	60	12,5	139	824	685	0,003	0,008	40	35	37	192	208
2	212	183,5	60	26	95	25	205	944	739	0,004	0,010	63	55	59	179	195
3	212	183,5	60	26	118	12,5	194	919	725	0,002	0,004	79	68	73	136	148
4	212	183,5	60	26	118	25	271	996	725	0,004	0,008	79	68	73	190	207
5	212	183,5	60	26	118	39	422	1147	725	0,006	0,013	79	68	73	296	322
6	212	183,5	60	26	118	50	504	1229	725	0,007	0,016	79	68	73	354	385

12.3. melléklet

Próbatest:			Ø324x10 műanyag bevonattal													
Szerszámgép:			UF221 vízszintes tengelyű marógép													
Szerszámok:			Keresztfogazású tárcsamaró Ø212x4,8, HSS 6-5-2 + TiN bevonat													
			Szögmaró Ø183,5x37,5°, jobbos, HSS 6-5-2 + TiN bevonat													
			Szögmaró Ø183,5x37,5°, jobbos, HSS 6-5-2 + TiN bevonat													
Mérőeszköz:			Hálózati analizátor CA8230													
Jel	szerszám átmérő: D [mm]		Fogszám: z		Fordulatszám: n [1/perc]	Előtolás:v _f [mm/perc]	Teljesítmény P [W]			Fogankénti előtolás:f _z [mm/fog]		Forgácsolási sebes- ség:v _c [m/perc]			Forgácsolási erő: F _c [N]	
	D1	D2	z1	z2			P _c	P _{cö}	P _{cü}	fz1	fz2	vc1	vc2	vcátl	F _{ce}	F _c
1	212	183,5	60	26	150	25	306	1031	725	0,003	0,006	100	86	93	169	184
2	212	183,5	60	26	150	75	627	1352	725	0,009	0,020	100	86	93	346	377
3	212	183,5	60	26	150	100	751	1476	725	0,011	0,026	100	86	93	415	451
4	212	183,5	60	26	150	100	741	1466	725	0,011	0,026	100	86	93	410	446
5	212	183,5	60	26	150	125	865	1590	725	0,014	0,032	100	86	93	478	520
6	212	183,5	60	26	150	125	895	1620	725	0,014	0,032	100	86	93	494	538
7	212	183,5	60	26	150	125	938	1694	725	0,014	0,032	100	86	93	518	564
8	212	183,5	60	26	118	125	204	929	725	0,018	0,041	79	68	73	143	156
9	212	183,5	60	26	118	25	307	1032	725	0,004	0,008	79	68	73	216	234
10	212	183,5	60	26	118	33	357	1082	725	0,005	0,011	79	68	73	251	273
11	212	183,5	60	26	118	39	401	1126	725	0,006	0,013	79	68	73	282	306
12	212	183,5	60	26	118	50	442	1167	725	0,007	0,016	79	68	73	310	338

12.4. melléklet

Próbatest:		Ø1000x18 műanyag bevonat nélkül														
Szerszámgép:		UF221 vízszintes tengelyű marógép														
Szerszámok:		Keresztfogazású tárcsamaró Ø212x4,8, HSS 6-5-2														
		Szögmaró Ø183,5x37,5°, jobbos, HSS 6-5-2														
		Szögmaró Ø183,5x37,5°, jobbos, HSS 6-5-2														
Mérőeszköz:		Hálózati analizátor CA8230														
Jel	szerszám átmérő: D [mm]		Fogsám: z		Fordulatszám: n [1/perc]	Előtolás: v_f [mm/perc]	Teljesítmény P [W]			Fogankénti előtolás: f_z [mm/fog]		Forgácsolási sebes- ség: v_c [m/perc]			Forgácsolási erő: F_c [N]	
	D1	D2	z1	z2			Pc	Pcö	Pcü	fz1	fz2	vc1	vc2	vcátl	Fce	Fc
1	212	183,5	60	26	47	9,8	228	933	705	0,008	0,008	31,29	27	29	362	438
2	212	183,5	60	26	47	12,5	625	1330	705	0,010	0,010	31,29	27	29	990	1199
3	212	183,5	60	26	47	16,5	811	1516	705	0,014	0,014	31,29	27	29	1284	1555
4	212	183,5	60	26	60	9,8	570	1255	685	0,006	0,006	39,94	35	37	707	856
5	212	183,5	60	26	60	12,5	575	1260	685	0,008	0,008	39,94	35	37	713	864
6	212	183,5	60	26	75	9,8	270	967	697	0,005	0,005	49,93	43	47	268	325
7	212	183,5	60	26	75	12,5	504	1201	697	0,006	0,006	49,93	43	47	500	606
8	212	183,5	60	26	75	16,5	855	1552	697	0,008	0,008	49,93	43	47	849	1028

12.5. melléklet

Próbatest:			Ø1000x18 műanyag bevonat nélkül													
Szerszámgép:			UF221 vízszintes tengelyű marógép													
Szerszámok:			Keresztfogazású tárcsamaró Ø212x4,8, HSS 6-5-2 + TiN bevonat													
			Szögmaró Ø183,5x37,5°, jobbos, HSS 6-5-2 + TiN bevonat													
			Szögmaró Ø183,5x37,5°, jobbos, HSS 6-5-2 + TiN bevonat													
Mérőeszköz:			Hálózati analizátor CA8230													
Jel	szerszám átmérő: D [mm]		Fogszám: z		Fordulatszám: n [1/perc]	Előtolás: v_f [mm/perc]	Teljesítmény P [W]			Fogankénti előtolás: f_z [mm/fog]		Forgácsolási sebes- ség: v_c [m/perc]			Forgácsolási erő: Fc [N]	
	D1	D2	z1	z2			Pc	Pcö	Pcü	fz1	fz2	vc1	vc2	vcátl	Fce	Fc
1	212	183,5	60	26	95	12,5	462	1201	739	0,002	0,005	63	55	59	388	470
2	212	183,5	60	26	95	25	734	1473	739	0,004	0,010	63	55	59	617	747
3	212	183,5	60	26	95	33	626	1365	739	0,006	0,013	63	55	59	526	637
4	212	183,5	60	26	118	9,8	385	1110	725	0,001	0,003	79	68	73	260	315
5	212	183,5	60	26	118	12,5	541	1266	725	0,002	0,004	79	68	73	366	443
6	212	183,5	60	26	118	25	957	1682	725	0,004	0,008	79	68	73	647	784
7	212	183,5	60	26	118	33	1201	1926	725	0,005	0,011	79	68	73	812	983
8	212	183,5	60	26	150	9,8	463	1188	725	0,001	0,003	100	86	93	246	298
9	212	183,5	60	26	150	12,5	601	1326	725	0,001	0,003	100	86	93	320	387
10	212	183,5	60	26	150	25	885	1610	725	0,004	0,008	100	86	93	471	570
11	212	183,5	60	26	150	33	1130	1855	725	0,003	0,006	100	86	93	601	728

12.6. melléklet

Tárcsamaró

Fordulat- szám (n) [1/perc]	Csőátmérő (D) [mm]	Kapcsoló- szám (ψ) [db]	Falvas- tagság (a) [mm]	Tárcsamaró szélessége (b) [mm]	Ívhossz (i) [mm]	Fogankénti előtolás (f_{z1}) [mm]	Köz. forg.vas- tagság (h_k) [mm]	Forg.seb. ($v_{cátl}$) [m/perc]	Fajl. forg. ellenállás (k_c) [N]	Egy fogra eső forg.erő (F_{c1}) [N]	Forgácsoló erő (F_c) [N]	Telj.(P) [W]
120	600	3,412	10	4,8	20,47	0,0011	0,000543	75	6548	17,1 N	58 N	78 W
120	600	3,982	12	4,8	23,89	0,0011	0,000558	75	6510	17,4 N	69 N	92 W
120	600	4,528	14	4,8	27,17	0,0011	0,000573	75	6475	17,8 N	81 N	107 W
120	600	4,810	15	4,8	28,86	0,0011	0,000578	75	6463	17,9 N	86 N	115 W
120	600	5,055	16	4,8	30,33	0,0011	0,000586	75	6443	18,1 N	92 N	122 W
120	600	5,563	18	4,8	33,38	0,0011	0,000599	75	6413	18,4 N	103 N	137 W
120	600	6,055	20	4,8	36,33	0,0011	0,000612	75	6386	18,7 N	114 N	151 W
120	600	6,533	22	4,8	39,2	0,0011	0,000624	75	6360	19,0 N	124 N	166 W

Szögmaró

Fordulat- szám (n) [1/perc]	Csőátmérő (D) [mm]	Kapcsoló- szám (ψ) [db]	Falvas- tagság (a) [mm]	Szögmaró át- lagszélessége (b) [mm]	Ívhossz (i) [mm]	Fogankénti előtolás (f_{z1}) [mm]	Köz. forg.vas- tagság (h_k) [mm]	Forg.seb. ($v_{cátl}$) [m/perc]	Fajl. forg. ellenállás (k_c) [N]	Egy fogra eső forg.erő (F_{c1}) [N]	Forgácsoló erő (F_c) [N]	Telj.(P) [W]
120	600	4,937	10	4,043	29,62	0,0026	0,000375	75	7076	10,7 N	106 N	141 W
120	600	5,898	12	5,6996	35,39	0,0026	0,000377	75	7070	15,2 N	179 N	239 W
120	600	6,728	14	7,3562	40,37	0,0026	0,000385	75	7036	19,9 N	268 N	357 W
120	600	7,110	15	8,1845	42,66	0,0026	0,000391	75	7016	22,4 N	319 N	425 W
120	600	7,473	16	9,0128	44,84	0,0026	0,000396	75	6994	25,0 N	374 N	498 W
120	600	8,155	18	10,6694	48,93	0,0026	0,000409	75	6950	30,3 N	494 N	658 W
120	600	8,788	20	12,326	52,73	0,0026	0,000421	75	6905	35,9 N	630 N	840 W
120	600	9,383	22	13,9826	56,3	0,0026	0,000434	75	6862	41,7 N	782 N	1041 W

12.7. melléklet

Forgácsolási ív hosszának változása csőátmérő és falvastagság függvényében, tárcsamaró esetén sugárirányú vágáskor										
Falvastagság [mm]	Csőátmérő [mm]									
	300	324	400	500	600	700	800	900	1000	1200
10	16,15	16,37	16,95	17,51	17,91	18,21	18,45	18,64	18,8	19,05
11	17,52	17,77	18,4	19	19,43	19,76	20,02	20,23	20,4	20,67
12	18,87	19,13	19,81	20,45	20,92	21,28	21,55	21,78	21,96	22,25
13	20,19	20,47	21,2	21,88	22,38	22,76	23,06	23,3	23,5	23,8
14	21,49	21,79	22,56	23,29	23,82	24,22	24,53	24,79	25	25,32
15	22,76	23,08	23,89	24,66	25,22	25,65	25,98	26,25	26,47	26,81
16	24,01	24,35	25,21	26,02	26,61	27,06	27,41	27,69	27,92	28,28
17	25,24	25,59	26,5	27,35	27,97	28,44	28,81	29,1	29,35	29,72
18	26,45	26,82	27,77	28,66	29,31	29,8	30,18	30,49	30,75	31,14
19	27,65	28,04	29,02	29,96	30,63	31,14	31,54	31,87	32,13	32,54
20	28,83	29,23	30,26	31,23	31,93	32,47	32,88	33,22	33,49	33,92
22	31,14	31,58	32,69	33,73	34,49	35,06	35,51	35,87	36,16	36,62

12.8. melléklet

Forgácsolási ív hosszának változása csőátmérő és falvastagság függvényében, szögmaró esetén sugárirányú vágáskor										
Falvastagság [mm]	Csőátmérő [mm]									
	300	324	400	500	600	700	800	900	1000	1200
10	23,365	23,705	24,57	25,39	25,975	26,425	26,77	27,055	27,285	27,64
11	25,73	26,105	27,065	27,965	28,615	29,105	29,49	29,8	30,05	30,445
12	27,905	28,315	29,36	30,335	31,04	31,57	31,99	32,325	32,6	33,025
13	29,935	30,375	31,5	32,545	33,3	33,87	34,315	34,675	34,97	35,425
14	31,84	32,305	33,5	34,62	35,425	36,03	36,505	36,885	37,2	37,685
15	33,64	34,14	35,405	36,585	37,44	38,08	38,58	38,985	39,315	39,825
16	35,36	35,885	37,22	38,465	39,36	40,03	40,56	40,98	41,33	41,865
17	37,01	37,56	38,955	40,26	41,195	41,905	42,455	42,895	43,26	43,82
18	38,59	39,165	40,625	41,99	42,965	43,7	44,275	44,735	45,115	45,7
19	40,115	40,715	42,24	43,655	44,675	45,44	46,035	46,515	46,905	47,51
20	41,595	42,22	43,8	45,27	46,325	47,12	47,735	48,23	48,64	49,265
22	44,415	45,09	46,785	48,36	49,49	50,335	51	51,52	51,955	52,62