



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

Óbudai Egyetem
Bánki Donát Gépész és
Biztonságtechnikai Mérnöki Kar

TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI DOLGOZAT

**A PVC ANYAGOK ÚJRAHASZNOSÍTÁSA SORÁN
ALKALMAZOTT SZERSZÁMOK ÉLETTARTAMÁNAK
NÖVELESE MEGFELELŐ ACÉLMINŐSÉG
KIVÁLASZTÁSÁVAL ÉS OPTIMÁLIS
HŐKEZELÉSÉVEL**

Szerző: Kőrösi Gábor
Gépészmérnök hallgató, BSc

Konzulens: Dr. Tóth László
Egyetemi Docens, PhD

Budapest, 2022.

Absztrakt

A szerszámok élettartama az egyik legfontosabb gazdasági paraméter a gyártás során, ami nagy mértékben befolyásolja a gépleállások időtartamának hosszát, ezáltal a gyártási határidők betartását is veszélyezteti. Ez különösen igaz az újrahasznosított PVC anyagok feldolgozása során, ahol nemcsak kopásállónak kell lennie az alkalmazott szerszámoknak, a nehezen kiszűrhető erősen koptató hatású idegen anyagok miatt, de nagy mértékben korrózióállónak is, az erősen korrodáló klór miatt, ami a PVC polimer egyik fő alkotóeleme. A dolgozatomban az újrahasznosított PVC anyagok granulálásakor alkalmazott szerszámok élettartamának növelését tűztem ki célul. Ezt egyrészt a szerszám anyagminőségének megfontolt kiválasztásával, másrészt hőkezelési paramétereinek optimalizálásával szeretném elérni, ami a kopásállóság melletti kiváló korrózióállóság követelményét a lehető legnagyobb mértékben ki tudja elégíteni, ezáltal növelve a szerszám élettartamát. A hőkezelés nagyon fontos szerepet játszik ezen tulajdonságok elérésében az anyag mikroszerkezetének megfelelő kialakításával. A hőkezelést a Titán 94 Kft -nél Dr. Tóth László Tanár Úr támogatásával végeztem, aminek eredményességét korrózióállósági- és kopásvizsgálattal ellenőriztem. Az eredmények azt mutatták, hogy az ajánlott szerszámminőség és hőkezelési technológia kombinációja, az eddig alkalmazott szerszámokhoz viszonyítva, valószínűleg nagyobb élettartamot lesz képes biztosítani az adott alkalmazási körülmények között.

Lezárás dátuma: 2022. december 05.

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés	3
2. Rolló Kft.	5
2.1. Szerszámkészítő és gépgyártó műhely:	6
2.2. Granuláló részleg	12
2.3. Késztermék előállítás	15
3. Szerszámanyag választás	16
3.1. Eddig alkalmazott szerszámanyagok	17
3.2. Ajánlott szerszámanyag bemutatása	17
4. Hőkezelések	20
5. Vizsgálatok	25
5.1. Keménységmérés	25
5.2. Mikroszkópos szövetszerkezet vizsgálat	26
5.3. Koptatóvizsgálat	28
5.4 Korrózióállósági vizsgálat	37
6. Konklúzió	43
7. Köszönetnyilvánítás	44
Irodalomjegyzék	45

1. Bevezetés

A műanyagok az elmúlt évtizedekben nélkülözhetetlenné váltak az alkalmazhatóságuk szinte minden területén. Ezt legfőképpen előnyös tulajdonságaiknak köszönhetik. Többek között alacsony sűrűségük miatt számos helyen gazdaságosabb felhasználást biztosítanak a korábban azonos területen alkalmazott más anyagokhoz képest, pl.: gépjárművek bizonyos alkatrészei, építőipari szerkezeti elemek. A gyártásuk során felhasznált energiamennyiség is viszonylag kevés, az alacsony feldolgozási hőmérsékletük végett.

A világ műanyagtermelésének legnagyobb hányadát a polietilén, polipropilén, polivinil- klorid, polisztirol, valamint a polietilén - tereftalát teszik ki. Ezeket nevezzük tömegműanyagoknak. A tömegműanyagok újrahasznosítása kiemelten fontos, mert ezeket használják fel a legnagyobb mennyiségben. A tömegműanyagok közül a polivinil-klorid (PVC) alapú műanyagok újrahasznosítása során különösen nagy odafigyeléssel kell eljárni, mivel a feldolgozó berendezéseken túl, az azokat kezelő személyzetben is kárt tehet [2,3].

2022. július 5 -én Dr. Tóth László Tanár Úr közreműködésével a Rolló Kft -nél egy gyárlátogatás keretein belül megismerkedhettem az újrahasznosított PVC alapú anyagból készülő granulátum, valamint számos területen alkalmazott extrudált elem teljes gyártási folyamatával ifj. Novák Mihály, a szerszámkészítés részleg telepvezetője kíséretében.

A továbbiakban bemutatom a Rolló Kft -nél megismert PVC anyagok feldolgozási körülményeit, és a gyártás szempontjából fontos tulajdonságait, a PVC reciklálási eljárását, valamint az újrahasznosítás során alkalmazott berendezéseket. A PVC alapú anyagok újrahasznosítása szinte elengedhetetlen, mivel nem képes lebomlani, így a nagy tömegű felhasználása miatt a gyakran nem megfelelően kezelt hulladéka szennyezi a környezetet.

A gyárlátogatás során szerzett ismeretek alapján, lehetőséget láttam a termelés gazdaságosságának növelésére. Ezt az újrahasznosított alapanyagú granulátum készítése során alkalmazott granuláló szerszám élettartamának növelésével szeretném elérni. Ehhez ajánlok egy szerszámanyagot, amihez egy olyan hőkezelési eljárást fogok választani, amely után a legyártott szerszám egyrészt ellenáll az erős koptató hatásnak, amit a reciklált műanyagok között megtalálható, nehezen kiszűrhető, a PVC -nél jóval keményebb, idegen anyagok idéznek elő, másrészt nagy mértékben korrózióálló is, az erősen korrodáló klór miatt, ami a PVC polimer egyik fő alkotóeleme.

A megfelelő hőkezelési technológia kiválasztásához, két különböző eljárással hőkezelt próbatesteket vizsgáltam. A hőkezelések eredményességét keménységméréssel, valamint kopásvizsgálattal és korrózióállósági vizsgálattal ellenőriztem.

A kapott eredmények azt mutatták, hogy az egyik vizsgált szerszámanyag mind a keménység és kopásállóság, mind a korrózióállóság tekintetében jobb tulajdonságokkal rendelkezik, mint a másik, eltérő hőkezelésen átesett anyag. Ezen felül az eddig az iparban alkalmazott acélminőségekhez viszonyítva* is jobb korrózióállósággal rendelkezik.

*A Rolló Kft. gyártogatásán emlegetett szerszámminőségekhez képest (2. fejezet).

2. Rolló Kft.

A Rolló Kft. 1993. óta működő, magyar tulajdonban lévő vállalat, amely PVC újrahasznosítással, granulátum gyártással, illetve késztermék extrudálással foglalkozik. A skandináv országokból, Szerbiából, Szlovákiából, Romániából is vásárolnak fel újrahasznosítható PVC -hulladékot, de akár a megrendelő is hozhat anyagot, amiből gyártatni szeretne [1].

Jelenleg három telephelyen zajlanak a cég tevékenységei:

- szerszámkészítő és gépgyártó műhely
- granuláló részleg
- késztermék előállítás

Mindhárom részleget bemutatom röviden a PVC tulajdonságainak ismertetése után.

A PVC, feldolgozás szempontjából, fontos tulajdonságai:

- hőmérséklet és nyomás növekedés következtében gázosodik
- 190 - 200 °C -on degradálódik, ezért a gyártás során hőmérséklete 160 -180 °C között van
- nedvességet nem vesz fel
- adalékokkal termikus stabilitása növelhető, mechanikai tulajdonságai széles tartományban szabályozhatóak
- töltőanyagokkal a gyártása olcsóbbá tehető, amelyek a mechanikai tulajdonságait nem, vagy csupán nagyon kis mértékben befolyásolják
- sokszor újrahasznosítható, van, hogy az újrahasznosított jobb tulajdonságokkal rendelkezik, mint az új alapanyagból készült**

A megfelelő tulajdonságok elérése érdekében fontos a hevítés / hűtőtartás / hűtés, valamint a hozzáadott adalékok, töltőanyagok minőségének és mennyiségének helyes megválasztása.

**a Rolló Kft. tapasztalata szerint

2.1. Szerszámkészítő és gépgyártó műhely:

A cég saját maga készíti elő, és javítja a gyártóeszközeit (a hőkezelésen, esetleges bevonatoláson kívül), egy erre a célra felkészített csarnokban, ezen felül még az új csarnokaik egyes alapanyagait, pl. a lambériákat is, saját maga gyártja le.

A PVC feldolgozás során alkalmazott szerszámok között megtalálhatunk késeket, guillotine -okat, csigákat (anyagmozgató, valamint granulátum előkészítő), törőtárcsákat, terelőkúpokat, terelőgyűrűket, granuláló fejeket (előlapokat), lyukasztó matricákat, perforáló lapokat, kalibrálókat.



1.ábra. A gyártás során alkalmazott szerszámok egy része [18]

A granulátum készülhet új alapanyagból, vagy újrahasznosított (reciklált) anyag felhasználásával, ezeket a granuláló részleg bemutatása során részletesebben kifejtem.

A **kések** reciklálás során vannak a legnagyobb igénybevételnek kitéve. Az újrahasznosított anyagban a PVC mellett gumidarabok, és akár acél csavarok is keverednek, amik előidézik ezt a nagy koptató igénybevételt. Hetente 2-3 garnitúrányi is elfogy belőlük. Egy garnitúrában maximum 6 db forgó, és 4 db álló kés található. Ettől eltérő összetételű késgarnitúrákat is alkalmaznak az adott feladattól függően. A kések javítása felrakóhegesztéssel, majd azt követő köszörüléssel történik. Vannak olyan gépek, amelyek akár 5000 fordulat/perc fordulatszámon dolgoznak (többnyire az újrahasznosítandó anyagok aprítói), ez, a nagy tömegük miatt, a hajtást is nagy mértékben igénybe veszi. A forgó kések szívósabb szerszámanyagot igényelnek, mint az állók.



2.ábra. Granulátum levágása kétkéses szerszámmal (bal) [1], javításra váró kések (jobb) [18],

A granulátum előkészítő **csigák** szerepe fontos, megmunkálásuk/karbantartásuk bonyolult és időigényes, a szerkezeti kialakításuk miatt.

3 fő részre oszthatóak (3.ábra.):

- behúzó szakasz (1)
- kompressziós szakasz (2)
- kigázosító szakasz (3)

Ezek mindegyike eltérő menetemelkedést kíván egy csigatengelyen, amiknek az elkészítése bonyolítja leginkább a szerszámot.



3.ábra. Granulátum előkészítő csiga [18]

Egy és kétsigás kialakítások is vannak. A kompresszió során akár 300 – 400 bar nyomást is létrehoznak. A kigázósításhoz a szerszámházon szellőzőnyílásokat kell elhelyezni.



4.ábra. Kettős csigaház szellőzőfuratokkal [18]



5.ábra. Gőzelvezetés (1) és hőmérsékletszabályozás (2) [18]

A **törőtárcsák** Böhler K100 -as (EN X210Cr12) anyagminőségből készülnek, szerepük a lamináris anyagáramlás biztosítása, és a nyomásnövelés. Fontos tulajdonságuk az áteresztőképesség.



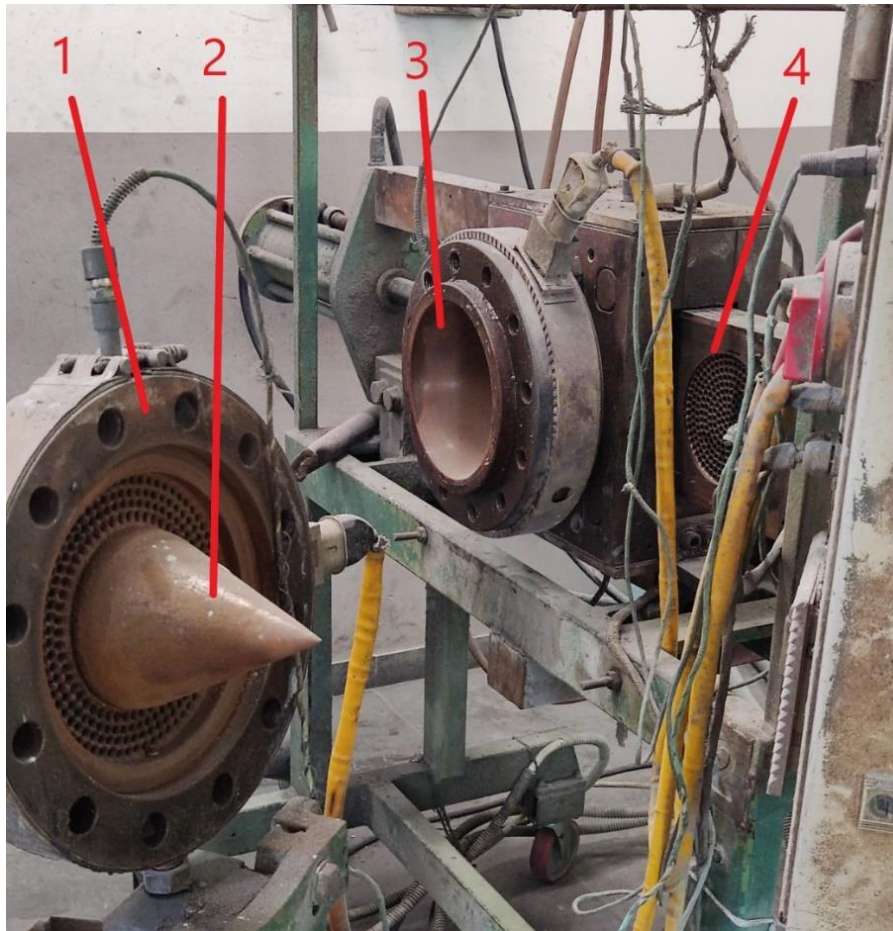
6.ábra. Törőtárcsa (a bal oldali kép az áramlás irányából készült) [18]

A **terelőkúpok** és **terelőgyűrűk** kialakításánál arra kell törekedni, hogy ne legyenek akadó felületek, és holtterek. Ahol megállhat az anyag áramlás közben, ott meg is fog állni, ahol ez bekövetkezik ott megkeményedhet, akár meg is éghet. A belső, anyaggal érintkező, részek felülete polírozott kell legyen. Így az alkalmazott anyagminőséggel szembeni követelmény a jó polírozhatóság, és a kopásállóság, ami a megfelelően kiválasztott hőkezeléssel optimalizálható. Általában K100 -as, vagy K110 -es (EN X153CrMoV12) anyagminőségű acélt alkalmaznak gyártásuk során.

A **granuláló fej (előlap)** Böhler BC3 betétben edzhető anyagból készül (EN 16MnCr5). A törőtárcsához hasonlóan ennek is fontos tulajdonsága az áteresztő képesség. Itt az előlapon történik meg a granulátumok levágása, így kiemelten fontos az alkalmazott szerszámanyag kopásállósága. A kés excentrikusan forog az előlapon, ennek mértéke 2-3 mm. Alacsony excentrikusság alkalmazásakor a granulálókés nem „szalad le” eléggé az előlapon, így a kés hullámosan fog kopni.



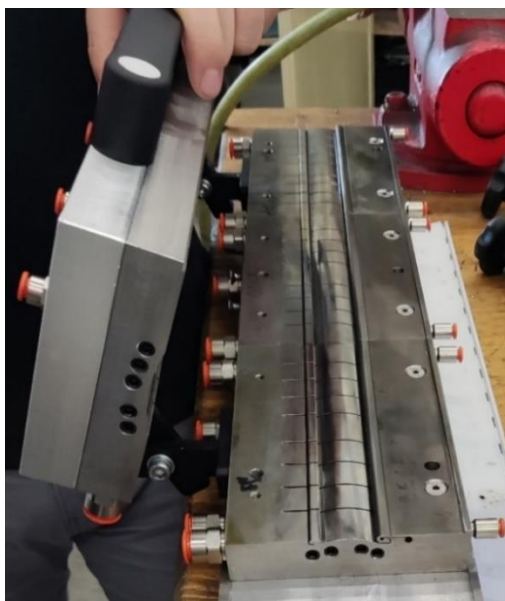
7.ábra. Granuláló fej (előlap) köszörülése [1]



8.ábra. Granuláló szerszám javítása [18]

- 1 – granulálófej
- 2 – terelőkúp
- 3 – terelőgyűrű
- 4 – törőtárca

A **kalibráló szerszámon** keresztül húzzák a felhevített extrudált munkadarabot, itt nyeri el végleges formáját. A hűtés is ebben történik, a belső falához szívja a készítendő profilt. A húzósebességgel állítják be az anyagvastagságot. A szerszám szerelt kivitelű, ezzel biztosítható a pontos gyárthatóság, valamint a gyors átállás másik munkadarabra. Az alakítandó anyaggal érintkező felülete polírozott.



9.ábra. Kalibráló szerszám redőny lamellákhoz [18]

A fenti ábrán egy redőny lamella kalibráló szerszáma látható. A narancssárga színű dugók a hűtőcsatornák csatlakozóit zárják le.

2.2. Granuláló részleg

Két főbb területre osztható:

- új alapanyagból
 - újrahasznosított anyagból
- készített granulátumok előállítása.

Az **új alapanyagból** készülő granulátumok legnagyobb összetevője por alapú PVC -ből áll. Ehhez, az egyéb adalékokon túl és a granulátum elvárt tulajdonságaihoz képest, különböző arányban titán-dioxidot (TiO_2) is adagolnak (5 – 40 % -ban is akár), ami hasonló tulajdonságokkal rendelkezik, de olcsóbb, mint a PVC. Bizonyos termékekhez üvegszálát is kevernek, de az csak a mechanikai tulajdonságokat javítja, egyéb tulajdonságokon nem módosít.

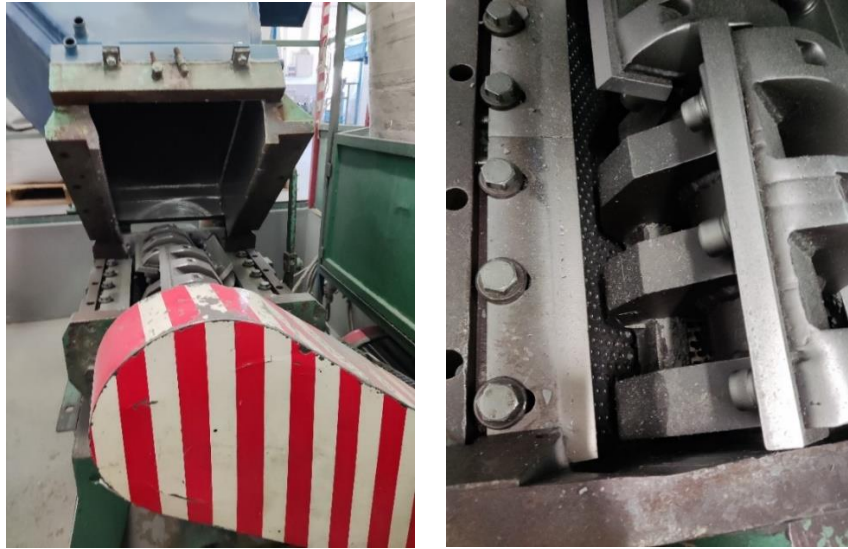
A minőségbiztosításhoz UV -állóság és viszkozitás vizsgálatokat is lehetne végezni, ezeket a Rolló Kft. nem alkalmazza még, csak spektroszkóp analízist.

Az **újrahasznosított alapanyagból** készülő granulátumokhoz kézi válogatással tudják a megfelelő minőségű alapanyagot biztosítani (pl.: ablakkeretből a szigetelést + egyéb idegen anyagokat eltávolítani), ami még így is nagy mértékben tartalmaz szennyezőket, amiket később a granulálás során ki kell szűrni. Az újrahasznosított alapanyagból készülő granulátumokhoz is adagolnak TiO_2 -t szükség esetén (pl.: fehérítés miatt). A késztermékek gyártása során keletkező hulladékot (pl.: lyukasztás) is felhasználják az újrahasznosítás során.



10.ábra. Lyukasztási hulladékok [18]

A nagyobb újrahasznosítandó elemeket a granulátum készítés előtt kisebb darabokra törik egy erre a célra használt aprító géppel.



11.ábra. Újrahasznosítandó alapanyag aprító [18]

Később ezeket tovább darálják granulátum méretűre és összekeverik a késztermék gyártás során keletkező maradék anyagokkal. Az újrahasznosított, granulátum méretű anyag a hevítés/nyomásnövelés után, de még a levágás előtt, szűrésre kerül. Nagyon nagy mennyiségű szennyeződést lehet ezáltal kivenni a készítendő granulátumból.

A szűrés kétféle módját alkalmazzák:

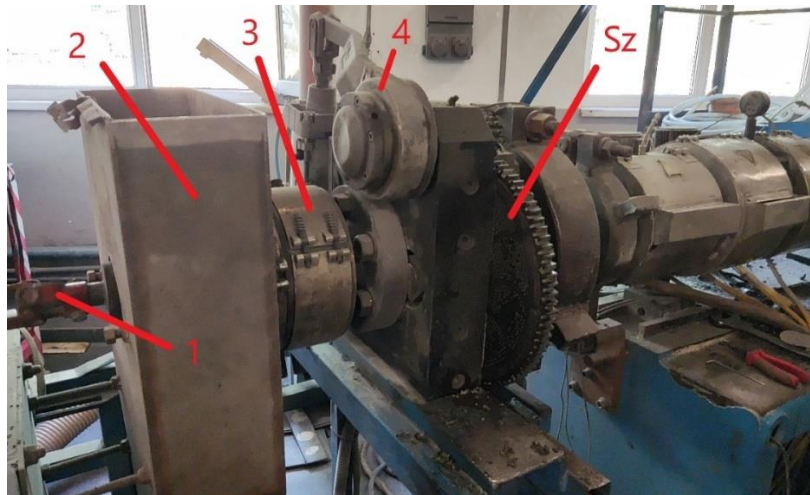
- álló szűrő
- mozgó „tárcsaszűrő”

Az álló szűrő egy egyszerű szűrőlap, ezeket sűrűn cserélni kell, a gyors eltömődés miatt.



12.ábra. Álló szűrőből kivett szennyezőelemek [18]

A cserék számának csökkentése végett használnak mozgó szűrőket (13. ábra), ahol egy külső fogazású tárcsa excentrikusan el tud fordulni az anyagáramlás tengelyéhez képest, ami így lehetővé teszi, hogy a rajta kialakított szűrő (furatokkal ellátott felületek) bizonyos időközönként ki tudjanak fordulni az anyagáramlásból, így a tárcsa egy másik felülete szűr tovább. A használt szűrőfelület addig kitisztítható. Egy tárcsán több ilyen felület is ki van alakítva.



13.ábra. Mozgó szűrő [18]

Sz – szűrőtárcsa

1 – kések hajtása villanymotorral kardáncsuklón keresztül

2 – védőburkolat (mögötte történik a granulátum méretre vágása)

3 – granulálófej

4 – szűrőtárcsa mozgató mechanizmusa

Gyártás során a levágott granulátum felveszi a granulálófejen kialakított rés és a granulálókés formáját, majd lehülés után az egyik oldalán beszívódás figyelhető meg.



14.ábra. Granulátum lehülés utáni beszívódása [18]

2.3. Késztermék előállítás

A késztermékek gyártására szolgáló gépek a késztermékek jellege szerint vannak csoportosítva. (csövek, sarokvédők, redőnylamellák, élelmiszeriparban használt termékek, stb.)

A gépek felépítése első ránézésre nagyon hasonlónak tűnhet. Mindegyik áll egy extrudáló, kalibráló, húzó, méretre vágó részegységből, de ezeken kívül több fontos dologban is eltérnek egymástól. Többek között: a felhasznált granulátum; az extrudálás során alkalmazott hőmérséklet, valamint nyomás; a profil alakját biztosító extrudálófej; a kalibrálószerszám kialakítása, hűtési sebessége; a profilhúzási sebesség; további műveletek (pl.: lyukasztás); egyesítés másik elemmel (pl.: élvédő profil üvegszövet hálóval).

A cég többek között az autóiparban, csomagolástechnikában, élelmiszeriparban, építőiparban, kertészetben használt profilokat, csöveket, és egyéb extrudált elemeket gyárt, akár egyedi rendelés alapján is [1].

Ezek mellett az alábbi tevékenységeket bér munkában is végzi a Rolló Kft.:

- extrudálás
- regranulálás
- szerszámkészítés extruderekhez
- extrudáláshoz kapcsolódó egyedi igények tervezése, kivitelezése
- műanyag hulladékok válogatása, darálása
- PVC hulladék felvásárlása

3. Szerszámanyag választás

A szerszámacélokkal szemben legtöbbször egymásnak ellentmondó követelményeket támasztunk, ráadásul ezek a követelmények napról-napra nőnek az ipari fejlődés hatására. A megrendelők elvárják a szerszámgyártóktól, hogy a megnövekedett igényeket azok a legkorszerűbb fejlesztéseikkel kiszolgálják. Folyamatosan nőnek az élettartammal kopásállósággal, valamint a termelékenységgel szemben támasztott elvárások. Ez kényszeríti rá a gyártókat az újabb anyagok és technológiák létrehozására [4].

A műanyagalakító szerszámok rendszerint bonyolult alakúak, a műanyaggal érintkező felületük gyakran polírozott. A műanyag-alakító szerszámok gyártásának igényeihez rendelkezésre áll a problémát legjobban megoldó szerszámacél, melyek tulajdonságait a megfelelő hőkezeléssel az egyes speciális alkalmazásokhoz lehet igazítani.

Az egyes szerszámok megmunkálása és üzemeltetése során nagyon sokféle, részben egymásnak ellentmondó követelményt támasztunk a felhasznált acélokkal szemben, melyek közül a PVC feldolgozása során a legfontosabbak az alábbiak:

- jó forgácsolhatóság
- jó hővezető képesség
- nagy biztonság repedéssel és töréssel szemben
- jó szívósság
- korrózióállóság
- hegeszthetőség (javítás)
- kopásállóság (reciklálás, töltőanyag-tartalmú műanyagok, granulálás)
- polírozhatóság
- átedzhetőség
- hosszú élettartam

A reciklált alapanyaggal dolgozó granuláló szerszám (8.ábra) az egyik leginkább igénybevett szerszámtest az újrahasznosítási folyamat során, aminek az összes fentebb felsorolt követelményt ki kell elégítenie. Ezáltal könnyen belátható, hogy a granulátum előállítás termelékenységének meghatározó eleme, így megbízhatóságának növelése kiemelt figyelmet érdemel. Az esetleges leállások mérséklésével nagy mértékben növelhető a termelékenysége.

3.1. Eddig alkalmazott szerszámanyagok

A szerszámkészítő és gépgyártó részleg bemutatása során említettem, hogy a reciklált műanyag granulálása során alkalmazott anyagminőségek a K100 (EN X210Cr12), K110 (EN X153CrMoV12), valamint a BC3 (EN 16MnCr5). Ezek mindegyike alkalmas ugyan a feladatai ellátására, de már a piacon megjelentek korszerűbb szerszámanyagok, és hőkezelési technológiák, amelyek kifejezetten a műanyag feldolgozáshoz lettek optimalizálva.

Az eddig alkalmazott szerszámok hőkezeléséhez elegendő volt egyszerűbb kialakítású hőkezelő berendezések használata, viszont a korszerű szerszámanyagok tulajdonságainak teljes kiaknázásához elengedhetetlenek a legkorszerűbb hőkezelő technológiák alkalmazása. Ezek a hőkezelő technológiák, fejlettebb hőkezelő kemencéket és kiegészítő berendezéseket követelnek meg.

3.2. Ajánlott szerszámanyag bemutatása

Az általam választott szerszámanyag, a Böhler Kereskedelmi Kft. által gyártott M340 ISOPLAST elnevezésű, mely kifejezetten műanyagalakító szerszámokhoz ajánlott. Előállításuk elektroszalagos átolvasztással történik, jól edzhető, forgácsolható, polírozható, nagyon jó mérettartósság jellemzi. Magas krómtartalma lehetővé teszi, megfelelő hőkezelés mellett, a kitűnő korrózióállóság elérését.

A jelenleg alkalmazott (K100/K110/BC3) acélokhoz képest jobb szívóssági, és megmunkálhatósági tulajdonságokkal rendelkezik, ezek mellett a korrózióállóság tekintetében is kiemelkedik közülük. Mindhárom szerszámacélhoz képest finomabb karbideloszlás és jóval kevesebb maradék ausztenit érhető el a jól megválasztott hőkezelési technológia segítségével.

Az M340 szerszámacél összetétele az alábbi táblázatban látható, amit Hitachi PMP2 spektrométerrel (15.ábra) mértem le.

Vegyi összetétel (tömeg %):					
C	Si	Mn	Cr	Mo	V
0,52	0,42	0,41	17,10	1,12	0,11

1.táblázat. Az M340 szerszámacél vegyi összetétele spektroszkóppal mérve



15.ábra. Az M340 szerszámacél vegyi összetétele spektroszkóppal mérve [18]

Az egyes ötvözők hatása [6,7]:

Szén (C):

Az acélok alapvető ötvözőeleme, meghatározza az alapmátrix keménységét, karbidképző ötvöző.

Szilícium (Si):

Növeli a keménységet, kopásállóságot, dezoxidál. Viszont rontja a megmunkálhatóságot.

Mangán (Mn):

Csökkenti a kén tartalmát az acélnak. Csökkenti a kritikus hűtési sebességet ezáltal javítva az átedzhetőséget. Dezoxidál.

Króm (Cr):

Szintén csökkenti a kritikus hűtési sebességet. Karbidképző ötvöző, növeli a keménységet és a kopásállóságot. Szabad króm formában, a szerszám felületén oxidhártyát képezve korrózióállóvá teszi az acélt. Diszperz eloszlása kulcsfontosságú ezen tulajdonságok maximalizálásához, ezt megfelelő hőkezeléssel érhetjük el. Karbid formában a polírozhatóságot kis mértékben rontja, de eloszlása homogenizálásával mérsékelhetjük hatását.

Molibdén (Mo):

A molibdén is csökkenti a kritikus hűtési sebességet. Javítja az acél megeresztésállóságát. Karbidképző, ezzel növelve a keménységet, és a korrózióállóságot.

Vanádium (V):

Növeli a keménységet, kopásállóságot, megeresztésállóságot és a szívósságot.

Nitrogén (N):

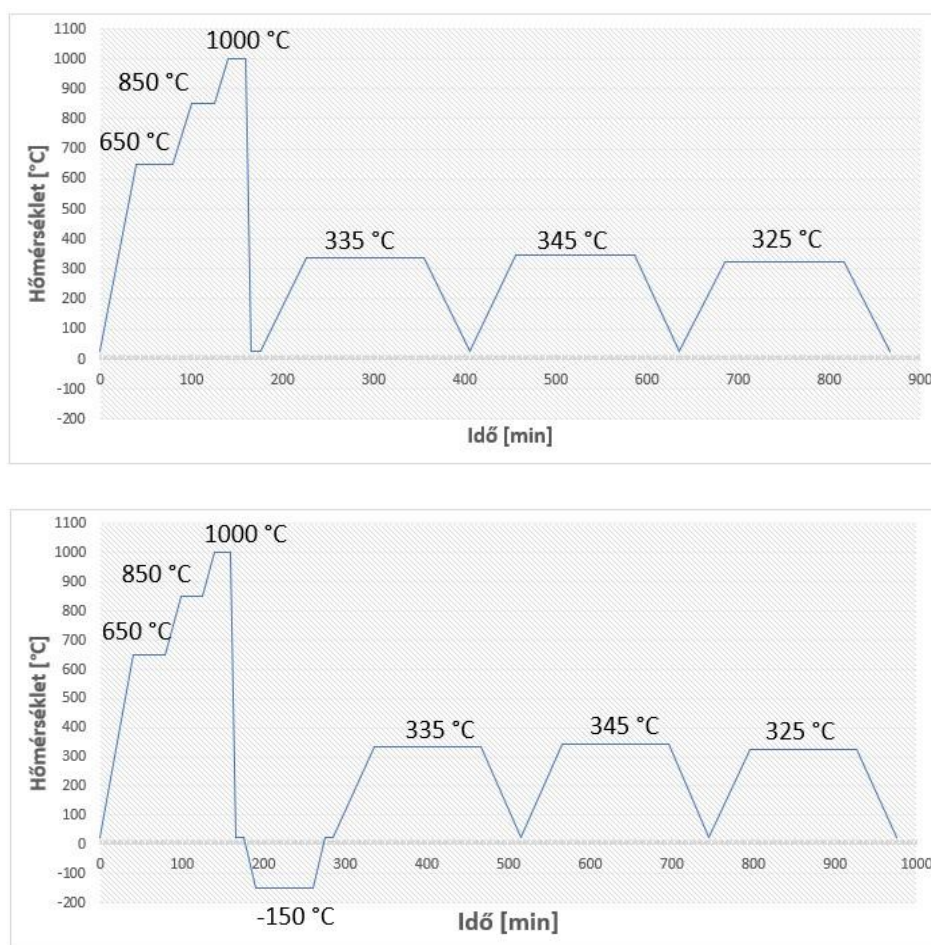
Stabilizálja az ausztenites szövetszerkezetet, szemcsefinomító hatása van [4].

4. Hőkezelések

A hőkezelésekhez a Titán 94 Kft. hőkezelőjét használhattam Dr. Tóth László Tanár Úr segítségével.

Az alkalmazott hőkezelések legfontosabb céljai a megeresztett martenzites szövet elérése, a lehető legkevesebb maradék ausztenit mellett, valamint a létrejövő karbidok, és szabad króm finom, diszperz eloszlása. Mindezek együtt alkotnak olyan szövetszerkezetet, amely biztosítani tudja a megkívánt kopásállóságot és korrózióállóságot.

Ennek megvalósítása érdekében a szakirodalmat és a legfrissebb kutatási anyagokat tanulmányozva arra a megállapításra jutottam, hogy egy magas hőmérsékletű ausztenitesítést követő edzést követően mélyhűteni kell a munkadarabot, amit három megeresztés követ különböző hőmérsékleteken (16. ábra, alsó kép).



16.ábra. Hőkezelési diagramok [18]

Hogy ennek eredményességéről megbizonyosodjak, két, egy lépésben eltérő, eljárással végeztem hőkezeléseket. Első alkalommal az iparban elterjedt „hagyományos” módon, edzést követően háromszor megeresztve a próbatesteket (16. ábra, felső kép). A másik eljárás során az ausztenitesítést követő lehűtés (edzés) után mínusz 150 °C -ig tovább csökkentve a hőmérsékletet (mélyhűtés) átlépve a martenzit átalakulás befejező (M_f) hőmérsékletét, és csak ez után következik a három megeresztés.

A magas hőmérsékletű ausztenitesítés azért szükséges, hogy minél finomabb nagyságú, és homogénebb eloszlású szemcsék jöjjenek létre. Arra vigyázni kell, hogy ne legyen túl magas ez a hőmérséklet, mivel az ugyan növeli a homogenitást, de már szemcsedurvulást eredményez. A szakirodalom, és a voestalpine Böhler Kft. katalógusa a 950 – 1100 °C -os tartományt ajánlja [4,5].

A szerszámacél karbidképző elemekkel erősen ötvözött, ami rontja hővezető képességét, így a repedésveszély elkerülése végett elengedhetetlen a lépcsős hevítés alkalmazása, ami a munkadarab magja és felülete közötti hőmérsékletkülönbség kiegyenlítésében segít.

Az ausztenitesítés után olyan sebességgel kell lehűteni a munkadarabot, amivel diffúziómentes átalakulásra kényszerítjük, ezzel a kívánt martenzites szövetszerkezetet létrehozva. A nagy mennyiségű ötvözőtartalom viszont a martenzites átalakulás befejeződésének hőmérsékletét (M_f) olyan mértékben csökkenti, hogy nem tud az összes ausztenit martenzitté alakulni. A maradék ausztenit csökkenti a keménységet, valamint belső feszültséget okoz a hőkezelt termékben. Ezeken felül belső energiájának növekedésével (pl.: hőközléssel, vagy terhelés hatására) lebomlik ezáltal további méretváltozást és belső feszültségeket okoz, mely a későbbiekben idő előtti szerszámtöréshez vezethet.

A maradék ausztenit csökkentéséhez a legelterjedtebben három megeresztést alkalmaznak, ez további, később részletezett, előnyökkel is jár.

Több publikáció szerint mélyhűtéssel tovább csökkenthető a maradék ausztenit [10,11]. Ennek alkalmazásának előfeltétele az ilyen hőmérsékleten is üzemeltethető kemencék, valamint a megfelelő hűtőközeg megléte.



17.ábra. IU72/1F 2RV 60x60x40 10 bar CP Schmetz típusú vákuum kemence és szabályozó berendezése [18]

Az edzéshez és mélyhűtéshez, valamint az első megeresztéshez IU72/1F 2RV 60x60x40 10 bar CP Schmetz típusú vákuum kemencét (17. ábra), a további megeresztésekhez egy Muhel nitrogén védőgázos megeresztő kemencét (18. ábra) használtam. Az előbbi alkalmas $-150\text{ }^{\circ}\text{C}$ -tól $+1350\text{ }^{\circ}\text{C}$ hőmérséklet intervallumban működni. Az ausztenitesítési hőmérsékletre hevítés a Schmetz vákuum kemencében három lépcsőben történt, először $650\text{ }^{\circ}\text{C}$ -on, majd $850\text{ }^{\circ}\text{C}$ (A_{c1} és A_{c3} átalakulási hőmérsékletek alatt) és $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ -on. Ezt követően 9 bar nyomású nitrogén gázban következett az edzés szobahőmérsékletig, utána a kemence átállási idejét követően megkezdődött a hőmérséklet $-150\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ra csökkentése folyékony nitrogén segítségével, majd 70 percig ezen a hőmérsékleten volt tartva, hogy a lehető legnagyobb térfogatban bekövetkezzen a martenzites átalakulás. Az első megeresztés után a próbatestet átvittem a Muhel nitrogén védőgázos megeresztő kemencébe. [9,11]

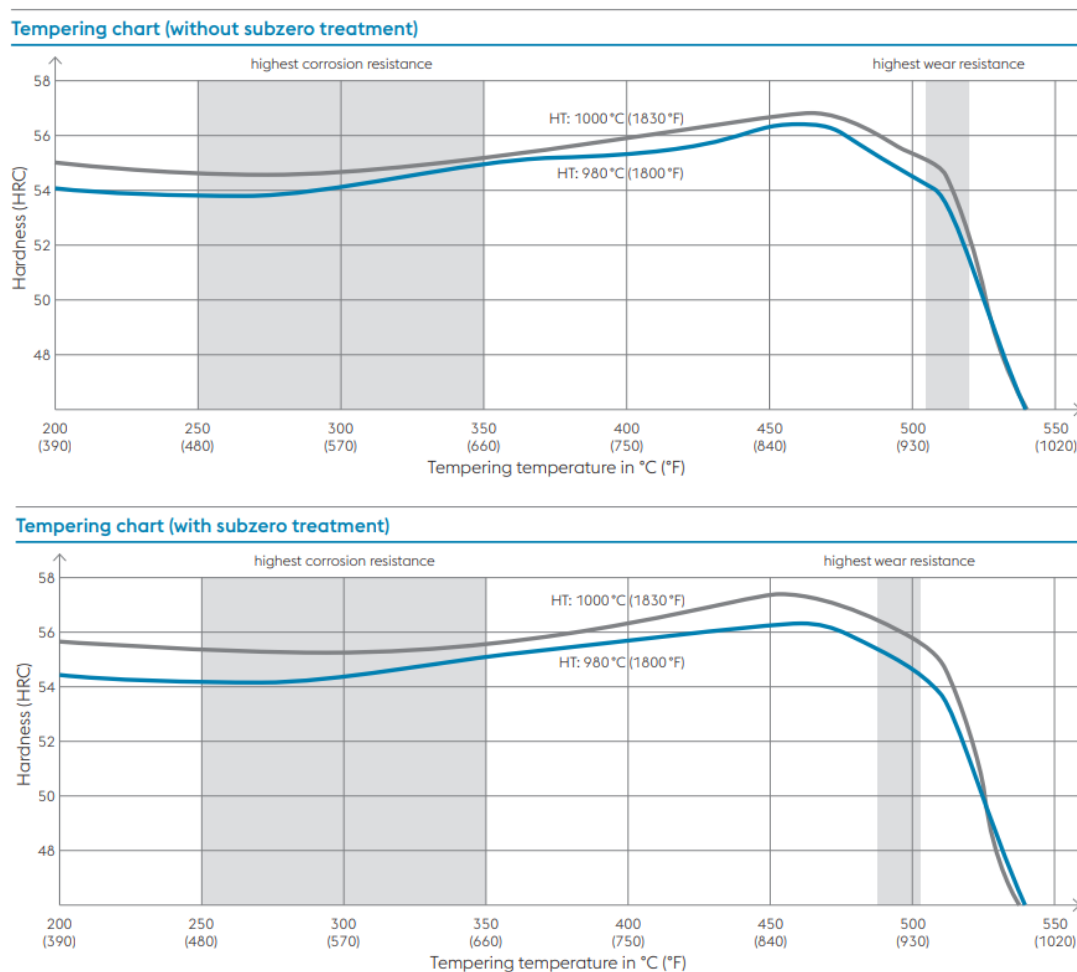


18.ábra. Muhel nitrogén védőgázas megersztő kemence [18]



19.ábra. Cseppfolyós nitrogén tárolók a Titán 94 Kft -nél, bal (4 bar) cseppfolyós alkalmazáshoz, jobb (14 bar) gáz halmazállapotú használatra [18]

Három eltérő hőmérsékletű megersztés szükséges. Az egyes megersztések hőmérsékleteit az elérni kívánt tulajdonság (magas korrózióállóság melletti kopásállóság) függvényében választottam ki az acél, gyártó által biztosított, megersztési diagramjai alapján (20. ábra).



20.ábra. A Böhler M340 ISOPLAST szerszámanyag megeresztési diagramja mélyhűtés nélküli (felső), és mélyhűtött (alsó) próbatestet feltételezve [8]

Az első megeresztés során 335 °C -ra hevítünk. Ez azt a célt szolgálja, hogy az edzés során az anyagban létrejött feszültségeket csökkentse, illetve a maradék ausztenit destabilizálja. A második megeresztést 345 °C -on végeztem. Ez a legmagasabb alkalmazott megeresztési hőmérséklet. Tovább segíti a maradék ausztenit martenzitté alakulását, illetve ezzel állítjuk be a kívánt keménységet, és kopásállóságot. Ahogy a diagramról (20. ábra) is leolvasható, a 250 - 350 °C hőmérséklet-tartományon végzett megeresztéssel tudjuk elérni a legjobb korrózióállóságot, ezen belül, a 350 °C -hoz közel pedig a legnagyobb keménységet, ami a kopásállóságot javítja. A harmadik megeresztés 325 °C -on történt. Lényege a feszültségcsökkentés és hogy az előző megeresztés során kialakult szerkezetet stabilizálja és hogy létrejöjjön egy diszperz, homogén karbid-eloszlású szövet [5,6].

5. Vizsgálatok

Az eredmények kiértékeléséhez keménységmérést, valamint kopásállósági, korrózióállósági, és mikroszkópos szövetszerkezet vizsgálatokat végeztem. A keménységmérés és a mikroszkópos szövetszerkezet vizsgálat a Titán 94 Kft. Lőrinci üzemében található laborjában történt. A koptatóvizsgálatot az Óbudai Egyetem Bánki Donát Gépész- és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar anyagvizsgáló laborjában végeztem. A korrózióállósági vizsgálat az egyetem Fizika-kémia laboratóriumában készült. Az utóbbi két vizsgálathoz, valamint a mikroszkópos szövetszerkezet vizsgálathoz a Duna Precíziós Kft. szelgette le a 4-4 próbatestet huzalszikra forgácsoló gép segítségével. Mindkét vizsgálat során 2-2 próbatestet vizsgáltam.

5.1. Keménységmérés

Dr. Tóth László segítségével a Rockwell C típusú keménységmérést Ernst AT130 D típusú univerzális keménységmérővel végeztem.

A kapott eredmények átlagait az alábbi táblázat (2. táblázat) tartalmazza.

	Nem mélyhűtött próbatest	Mélyhűtött próbatest
Rockwell C keménység (HRC)	55	56
Mérőgép típusa	Ernst AT 130 D	

2.táblázat. Keménységmérési eredmények átlagai

A keménységmérés során elért értékek alapján az a következtetés vonható le, hogy a mélyhűtéssel, kis mértékben ugyan, de sikerült növelni a keménységet.

5.2. Mikroszkópos szövetszerkezet vizsgálat

A vizsgálathoz a próbatesteket megfelelő módon ki kellett munkálni. Semmilyen hatás nem érheti őket eközben, ami az acél szövetszerkezetét megváltoztatná (termikus, mechanikai behatások). Az optikai fénymikroszkóppal történő vizsgálathoz egyenletes síkfelületet kell képezni, ami a róla visszaverődő fényt torzítás, szóródás nélkül vissza tudja adni. Ehhez célszerű a próbatestek műgyantába történő beágyazása, a könnyebb kezelhetőség miatt, és hogy elkerüljük a minták széleinek lekerekedését.

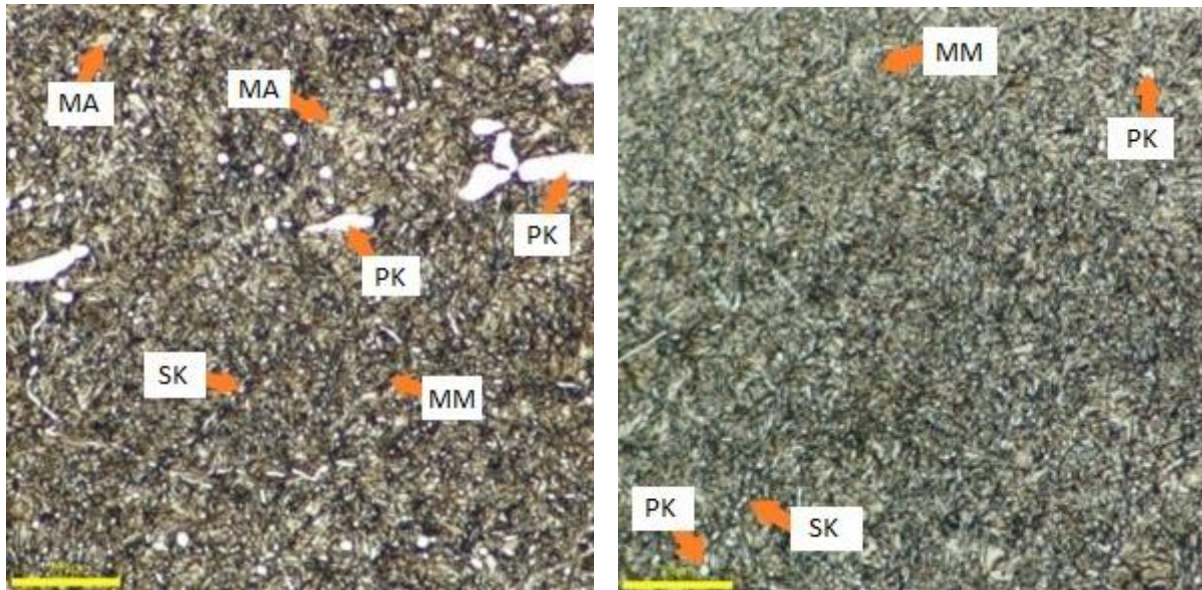
A beágyazás után csiszolni, polírozni kell, odafigyelve a megfelelő hűtésre is eközben. Ezután maratni kellett a felületet, hogy láthatóvá tegyük az acél szövetszerkezetét. A maróanyag 5 % - os Nital oldat volt (alkohol és salétromsav oldata).



21.ábra. Csiszoló/polírozó gép (Metcon Forcipol 102) (bal), mikroszkóp (Olympus CKX53) (jobb) [18]

Az előkészített csiszolatokról mikroszkópos felvételeket készítettem egy Olympus CKX53 mikroszkóppal, és a hozzá kapcsolt számítógéppel, Dr. Tóth László Tanár Úr segítségével.

A képeken jól láthatóak az eltérő hőkezelések hatásai. A 22. ábra bal oldalán a hagyományos hőkezeléssel készült próbatest szövete látható. Könnyen kivehetőek rajta a nagy méretű primer karbidok, és a maradék ausztenit jelenléte. A jobb oldali képen a mélyhűtéssel hőkezelt próbatest szövetképét figyelhetjük meg. Feltűnik a szekunder karbidok finom diszperz eloszlása, és a maradék ausztenit minimalizálódása.



22.ábra. Szövetképek: hagyományos hőkezelés eredménye (bal), mélyhűtés közbeiktatásával kezelt (jobb) (lépték 20 μm) [18]

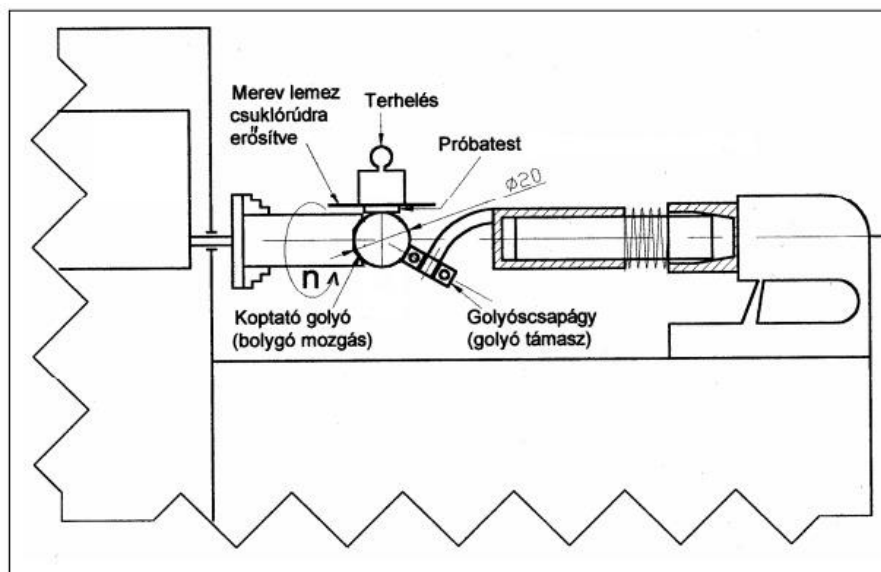
Az ábrán alkalmazott jelölések:

- MA: maradék ausztenit
- PK: primer karbid
- SK: szekunder karbid
- MM: megeresztett martenzit

Ezek a megfigyelések magyarázatot nyújtanak a későbbiek folyamán bemutatott, vizsgálatok során kapott eredményekre.

5.3. Koptatóvizsgálat

A koptatóvizsgálathoz a hőkezelt munkadarabokból a Duna Precíziós Kft. - Dr. Tóth László közbenjárásával - kérésre 1,5 mm vastag 35 mm x 18 mm -es téglatesteket vágott le. Mindkét hőkezelt próbatestről kettőt - kettőt. A próbatestek kopásának mértékét az egyetem tulajdonában lévő koptató berendezésen ellenőriztem. A koptató berendezés elvi elrendezése az alábbi ábrán (23.ábra) látható.



23.ábra. A koptató berendezés elvi elrendezése [12]

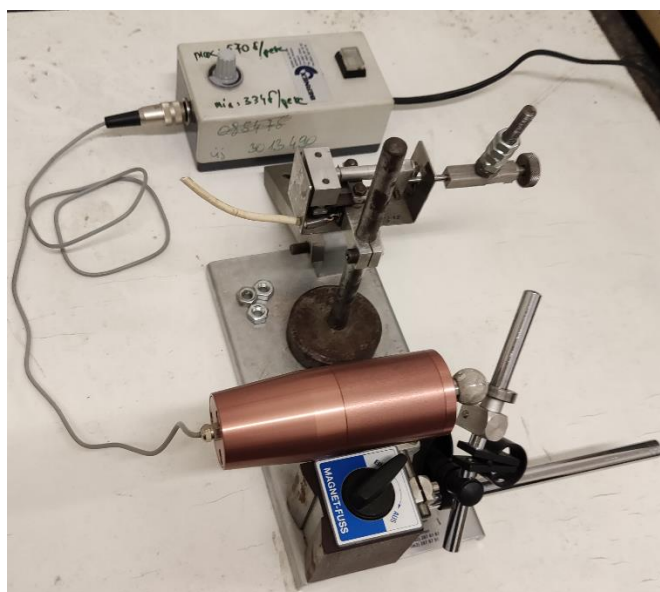
A fenti ábrán látható berendezés gömb- és síkfelület érintkezésének kölcsönhatásán alapszik. Kezdeti állapotban érintkezésük pontszerű. A kopási folyamat előrehaladtával a próbatesten egy gömbsüveg alakú kráter keletkezik. Ez a felület a koptatógolyó formáját követve másolódik rá a próbatestre, miközben anyagot választ le róla. A kopás intenzitását így a koptatóvizsgálat során levált anyagmennyiség meghatározásával írhatjuk le leginkább [12].

A kísérlet során a koptató golyó felületi érdessége szinte nem változik, mivel a golyó bolygó mozgást végez, ezáltal nem mindig ugyan azon a felületen érintkezik a próbatesttel. Ahogy telik az idő, a kopási kráter egyre mélyül, és az érintkező felületek is egyre nagyobbak lesznek. Ezáltal a fajlagos felületi terhelő erő az idő függvényében, a kopás mértékének megfelelően, folyamatosan változik, csökken [14,15]. A négy darab vizsgált próbatesten (24.ábra), darabonként három ponton, 5 perces koptatást hajtottam végre, mivel, mint azt az előbb részleteztem, a koptató hatás az idő előrehaladtával egyre inkább csökken. A koptató golyó

rögzítése és a meghajtás kialakítása a 25. ábrán látható. A próbatestek befogását, és a terhet pedig a 26. ábra szemlélteti.



24.ábra. A koptatóvizsgálat próbatestei (jobb oldali kettő a mélyhűtött) [18]



25.ábra. A koptató golyó rögzítése, meghajtásának kialakítása [18]

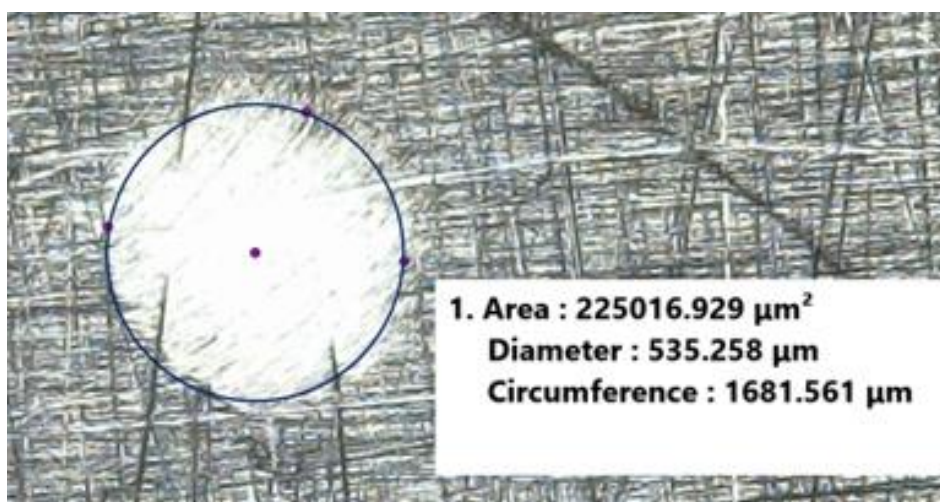


26.ábra. Próbatétel befogó [18]

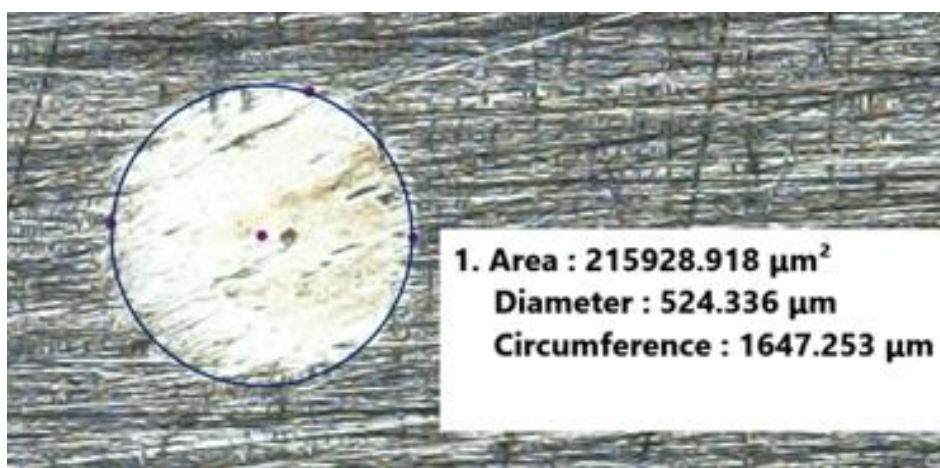
A vizsgálat során a hajtás állandó fordulatszáma $n = 570$ [1/ min] volt. A próbatest befogón keresztül a golyóra nehezedő teher 78,0 [g], ezt az anyagvizsgáló laborban lemértem, ehhez hozzájön a befogott próbatest saját tömege, ami 7 [g]. Így összesen 85 [g] a terhelő tömeg. A kerámia golyó anyagminősége Al_2O_3 , átmérője 20 [mm]. A szoba hőmérséklete 21 ± 1 [°C] volt. A kísérlet során nem alkalmaztam kenőanyagot, minden vizsgálat előtt alkoholba mártott kendővel megtöröltem a próbatesteket, és forgása közben finoman a golyót, a támasztócsapágyat, és a meghajtás tengelyvégződését is, majd megvártam, amíg elpárolog a használat előtt. Ezzel a zsírtól, és egyéb szennyezőelemektől is megtisztítottam az érintkező felületeket.

A kopásminták lemérése az Olympus DSX10-BSW típusú optikai elven működő mikroszkóppal, és a hozzá tartozó számítógépes program segítségével történt. Minden alkalommal 3 pont kijelölésével határoztam meg a kopásmintára illesztett kört, aminek átmérőjét felhasználtam a későbbi számítások során.

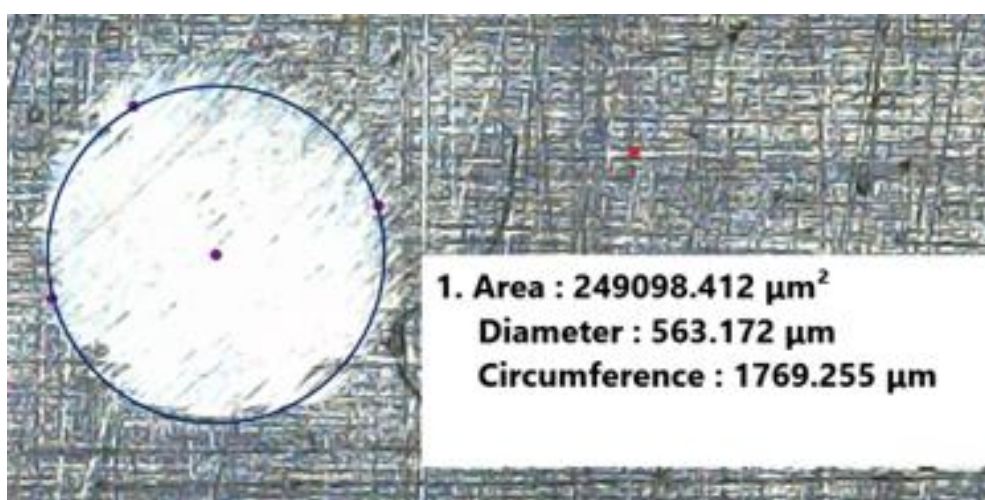
Az alábbiakban megmutatom a mintákról készített felvételeket, majd utánuk a kopási tényező meghatározásához szükséges számításokat ismertetem. Végül táblázat formájában (3. táblázat) összegzem a számított értékeket.



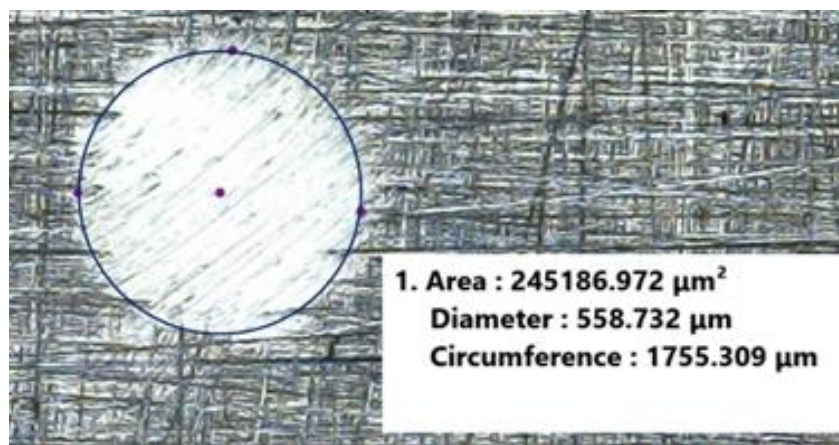
27.ábra. Az első minta 1. kopási képe [18]



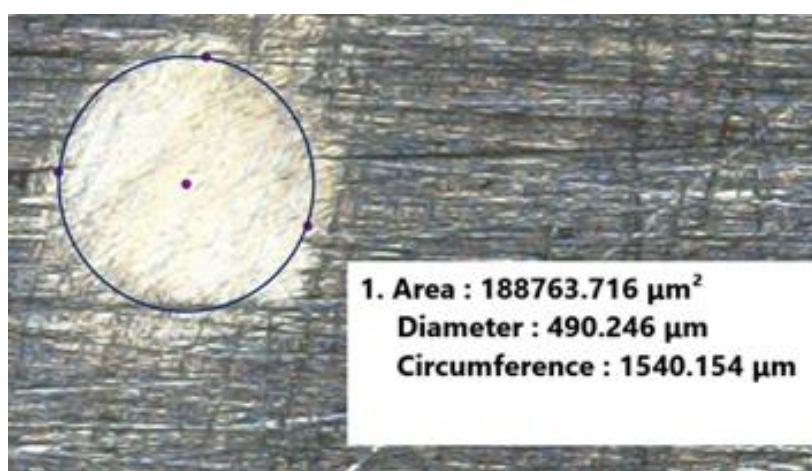
28.ábra. Az első minta 2. kopási képe [18]



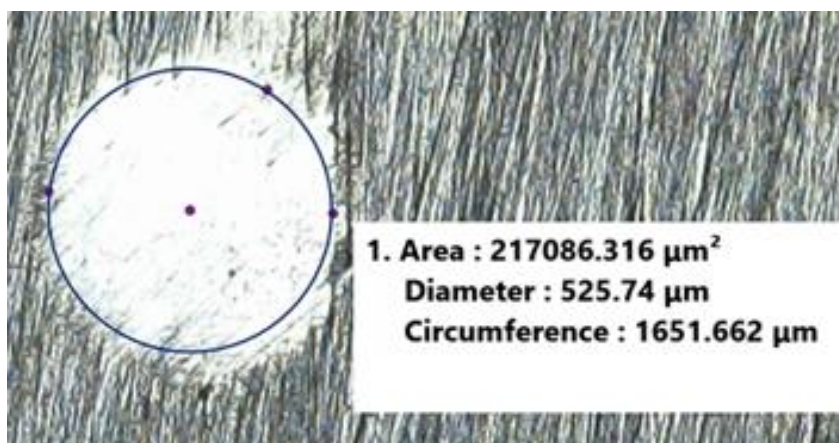
29.ábra. Az első minta 3. kopási képe [18]



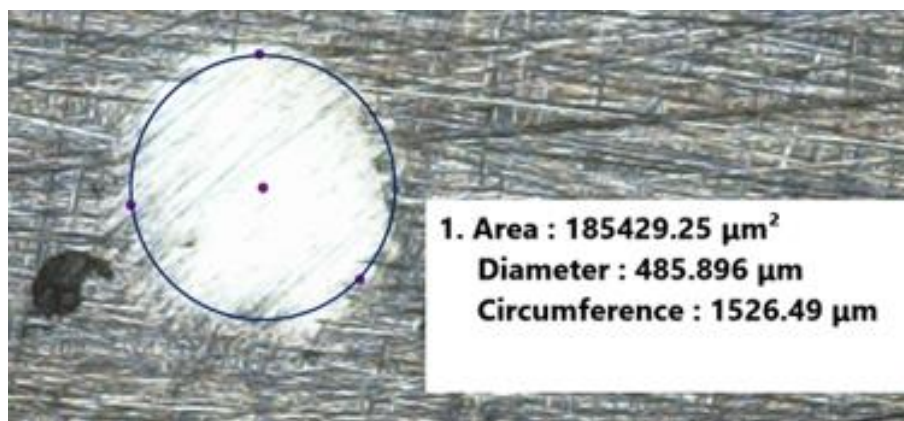
30.ábra. A második minta 1. kopási képe [18]



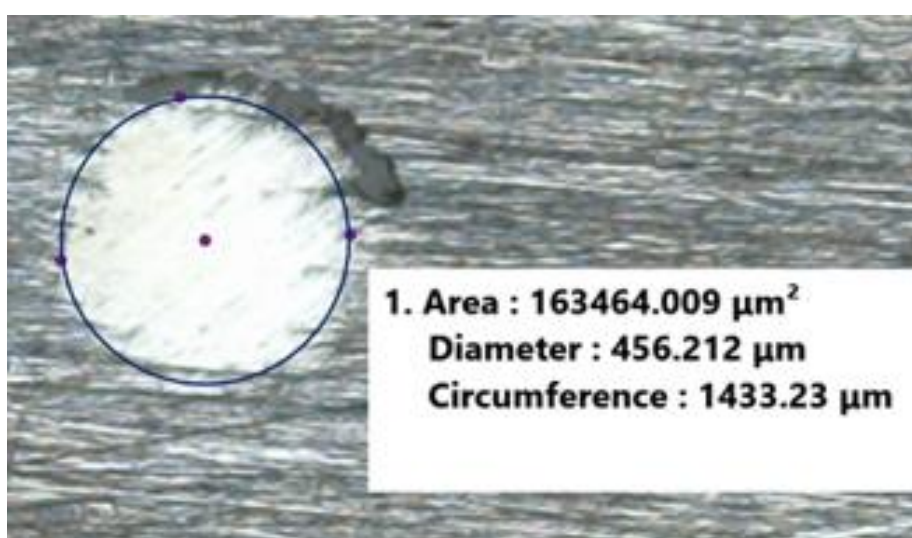
31.ábra. A második minta 2. kopási képe [18]



32.ábra. A második minta 3. kopási képe [18]



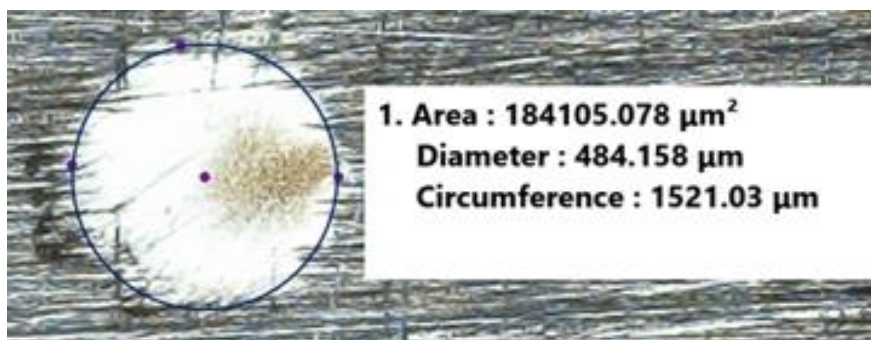
33.ábra. A harmadik minta 1. kopási képe [18]



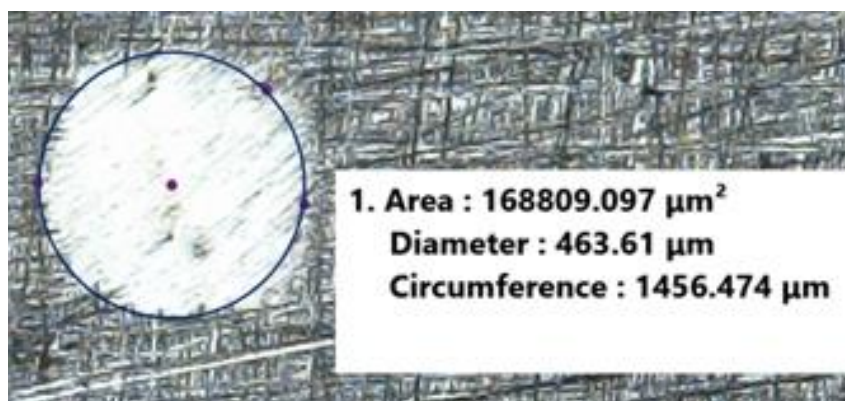
34.ábra. A harmadik minta 2. kopási képe [18]



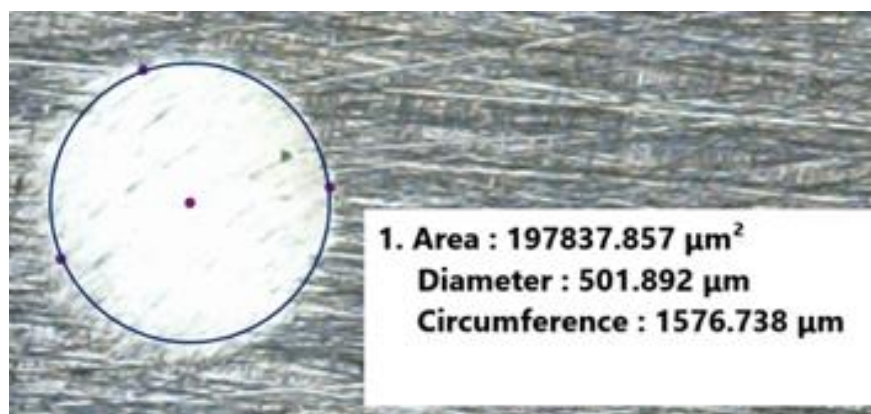
35.ábra. A harmadik minta 3. kopási képe [18]



36.ábra. A negyedik minta 1. kopási képe [18]



37.ábra. A negyedik minta 2. kopási képe [18]



38.ábra. A negyedik minta 3. kopási képe [18]

A kopási tényező (K) az (5.3.1) -es egyenlet szerint a leválasztott térfogat (V_v), valamint a kopási úthossz (S) és a terhelő normálerő (N) ismeretében kiszámítható.

$$K = \frac{V_v}{S \times N} \left[\frac{mm^3}{Nm} \right] \quad (5.3.1)$$

A kopásmélység (h), a kopási térfogat (V_v), és a kopási úthossz (S) meghatározásához rendre a (5.3.2), (5.3.3), (5.3.4) egyenleteket használtam.

$$h = R - \sqrt{R^2 - r^2} \quad [\text{mm}] \quad (5.3.2)$$

$$V_v = \frac{h \times \pi}{6} \left(\frac{3}{4} d^2 + h^2 \right) [\text{mm}^3] \quad (5.3.3)$$

$$S = n \times 2R \times \pi \times t [\text{m}] \quad (5.3.4)$$

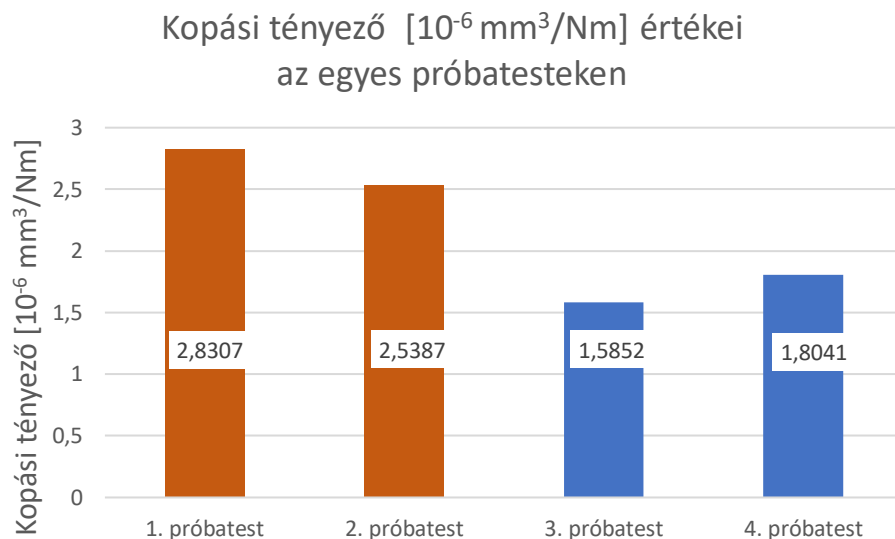
Amelyekben:

- R: a golyó sugara [mm]
- r: a kopásnyomra illesztett kör sugara [mm]
- d: a kopásnyomra illesztett kör átmérője [mm]
- n: a golyó fordulatszáma [1/min]
- t: a koptatás időtartama [min]

A mért adatok összegezve:

Próbatest száma, rajta lévő kopási minta száma	Kopási idő (t) [min]	Fordulat-szám (n) [1/min]	Kopás mélység (h) [mm]	Kopási térfogat (V) [mm ³]	Kopás-nyom (d) [mm]	Kopási út (S) [m]	Kopási tényező (K) [mm ³ /Nm]
1,1	5	570	0,0036	0,4031*10 ⁻³	0,535258	179,07	2,6991*10 ⁻⁶
1,2	5	570	0,0034	0,3711*10 ⁻³	0,524336	179,07	2,4853*10 ⁻⁶
1,3	5	570	0,0040	0,4939*10 ⁻³	0,563172	179,07	3,3077*10 ⁻⁶
2,1	5	570	0,0039	0,4785*10 ⁻³	0,558732	179,07	3,2046*10 ⁻⁶
2,2	5	570	0,0030	0,2836*10 ⁻³	0,490246	179,07	1,8993*10 ⁻⁶
2,3	5	570	0,0035	0,3751*10 ⁻³	0,52574	179,07	2,5121*10 ⁻⁶
3,1	5	570	0,0030	0,2736*10 ⁻³	0,485896	179,07	1,8328*10 ⁻⁶
3,2	5	570	0,0026	0,2126*10 ⁻³	0,456212	179,07	1,4242*10 ⁻⁶
3,3	5	570	0,0027	0,2237*10 ⁻³	0,462048	179,07	1,4985*10 ⁻⁶
4,1	5	570	0,0029	0,2697*10 ⁻³	0,484158	179,07	1,8067*10 ⁻⁶
4,2	5	570	0,0027	0,2268*10 ⁻³	0,46361	179,07	1,5189*10 ⁻⁶
4,3	5	570	0,0031	0,3115*10 ⁻³	0,501892	179,07	2,0863*10 ⁻⁶

3.táblázat. Koptatási eredmények táblázata



39.ábra. A kopási tényező próbatestenként átlagolt értékei diagramban

A diagramon rozsdás színnel ábrázoltam a hagyományosan hőkezelt, kékkel a mélyhűtött próbatesteket.

A 4. táblázatban átlagolom a kapott eredményeket:

Kopási tényező átlagok		
1. próbatest	$2,8307 \cdot 10^{-6}$	mm^3/Nm
2. próbatest	$2,5387 \cdot 10^{-6}$	mm^3/Nm
3. próbatest	$1,5852 \cdot 10^{-6}$	mm^3/Nm
4. próbatest	$1,8041 \cdot 10^{-6}$	mm^3/Nm
Nem Mélyhűtött	$2,6847 \cdot 10^{-6}$	mm^3/Nm
Mélyhűtött	$1,6946 \cdot 10^{-6}$	mm^3/Nm

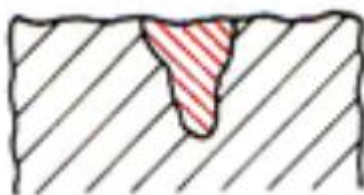
4.táblázat. Átlagolt kopási értékek

A kapott eredmények azt mutatják, hogy a mélyhűtéssel javítható a szerszámanyag kopásállósága. Ez a diszperz, homogén karbideloszlásnak tulajdonítható, amit a szövetszerkezetről készült felvételen is láttunk.

5.4 Korrózióállósági vizsgálat

A korrózióállósági vizsgálatához Haraszti Ferenc Tanár Úr segítségét kértem. A vizsgálat során az ASTM G48-11R20E01 szabvány előírásait követtük (American Society for Testing and Materials). Ez egy egyszerű merítési teszt, amely során a rozsdamentes acélok és nikkeltövezetek lyuk- és réskorrózióval szembeni ellenállását értékelik. A szabvány szerint a teszt során az előzetesen lemerített felületű, és tömegű próbatesteket vas-klorid (FeCl_3) oldatban állandó hőmérsékleten 72 óráig állni hagyjuk. A vas-klorid oldat egy kellően agresszív környezetet teremt a korrózió elősegítésére, a kloridionok jelenléte, az oxidáló körülmények, és az alacsony pH értéke miatt. A szabvány hat módszert tartalmaz, A -tól F -ig. Az A és B módszer meghatározza a súlycsökkenést állandó hőmérsékletű ($22\text{ }^\circ\text{C}$, vagy $50\text{ }^\circ\text{C}$ az ajánlott), 6 % -os vas-klorid (FeCl_3) oldatban. Az A módszer a lyukkorróziót vizsgálja, a B módszer pedig a réskorróziót [16].

Én az A módszert választottam az újrahasznosított PVC alapanyagból készülő granulálás során jelen lévő körülmények miatt.



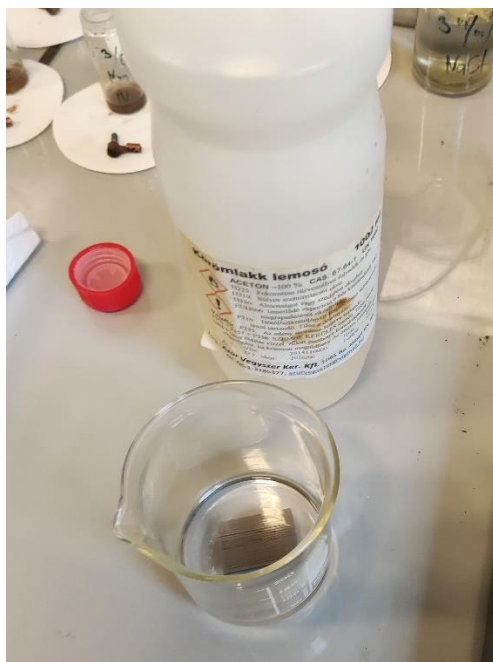
40.ábra. Lyukkorrózió szemléltetése [17]

A lyukkorrózió (pitting) az egyik legveszélyesebb és leggyakrabban előforduló korróziófajta. Az idő előrehaladtával szabálytalan alakú lyukak alakulnak ki a korrózióknak kitett felületen. Ezt követően egyre intenzívebbé válik a folyamat. Kis felületű, nagy mélységű korróziós károsodást hoz létre (40. ábra) [17].

A próbatestek (48.ábra.):

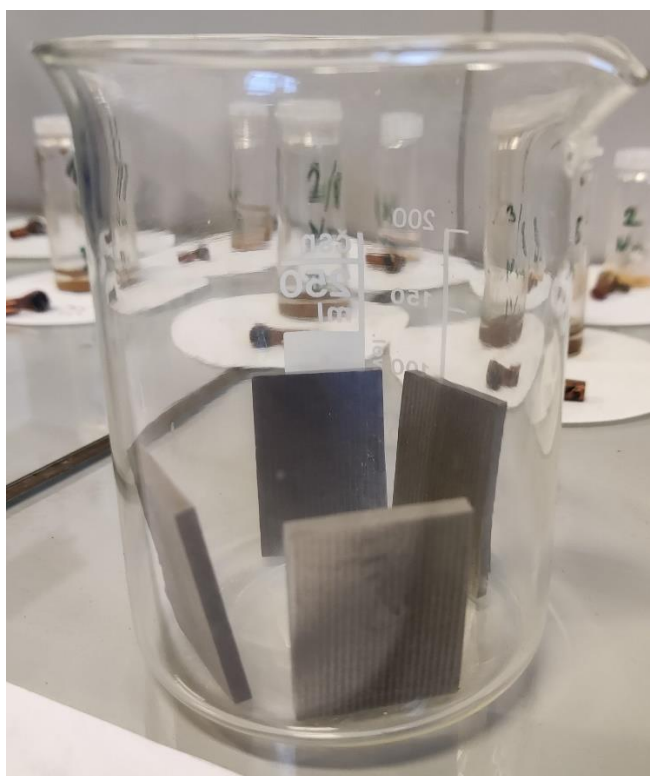
- az 1. és 2. sorszámmal ellátottak a nem mélyhűtött munkadarabból származnak
- a 3. és 4. sorszámuak a mélyhűtött munkadarabból

A vizsgálat előtt megjelöltem a próbatesteket, majd lemértem a próbatestek méreteit, és tömegüket (három mérés átlaga) Kern ALJ 220-4NM digitális mérlegen. Ezután 100 % -os acetonnal tisztítottam felületüket.



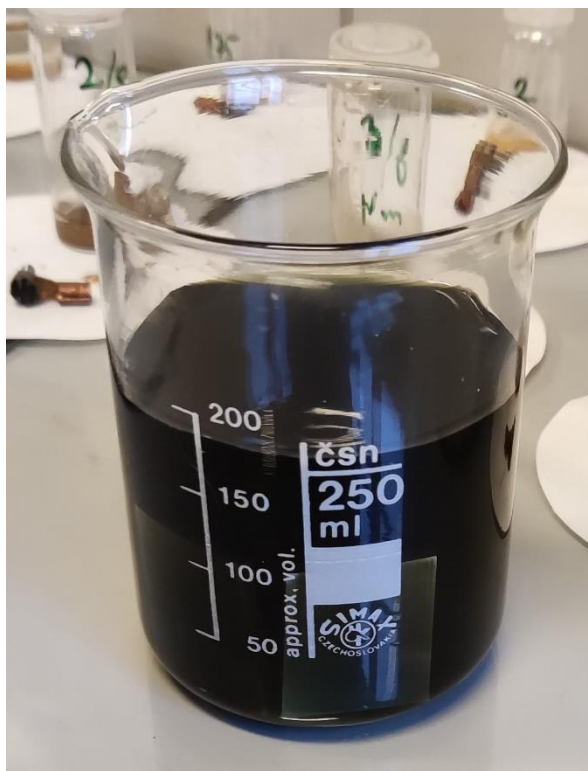
41.ábra. Zsírtalanítás [18]

Ezt követően egy átlátszó mérőedénybe helyeztem őket egy csipesz segítségével úgy, hogy a lehető legnagyobb felületen érintkezhessenek a vas-klorid oldattal.



42.ábra. Próbatetek az edényben [18]

Ezután feltöltöttem az edényt, hogy bőven ellepje a próbatesteket.



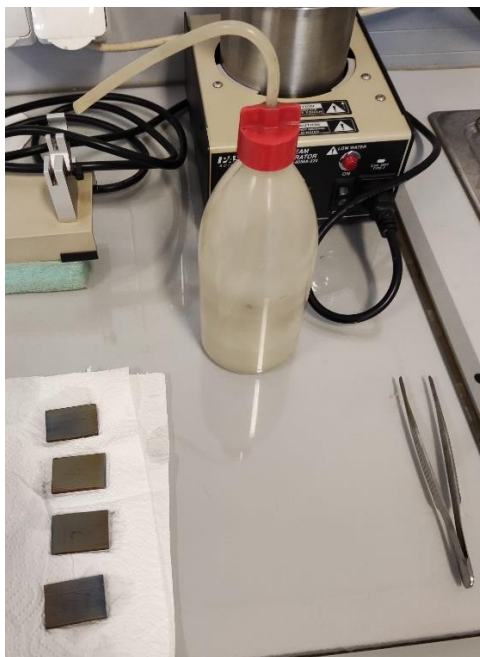
43.ábra. Próbatestek az oldatban [18]

Ezután lefedtem a tetejét, és egy erre a célra kialakított klímasekrénybe zártam, ahol garantálni tudtam az állandó hőmérsékletet.



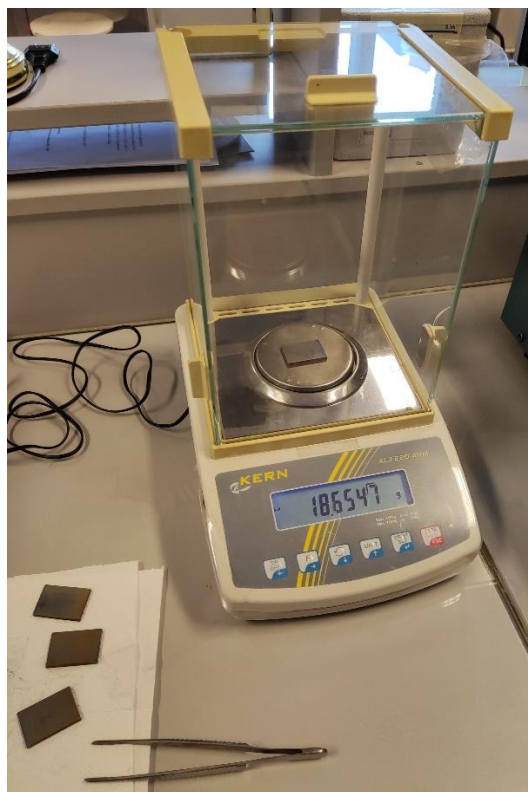
44.ábra. Zárt klímasekrény [18]

72 óra elteltével csipesszel egyenként kivettem az oldatból őket, és desztillált vízzel leöblítettem a felületüket.



45.ábra. Tisztítás desztillált vízzel [18]

Száradásuk után újra lemértem őket (három mérés átlagát vettem).



46.ábra. Mérés a vizsgálat után (Kern ALJ 220-4NM digitális mérleg) [18]

A korróziós tömegvesztés megállapítása az (5.4.1) képlettel történt.

$$\text{Korróziós tömegvesztés} = \frac{\Delta m}{A \times t} \left[\frac{g}{m^2 h} \right] \quad (5.4.1)$$

ahol:

- Δm : a korrodálódás következtében létrejövő tömegcsökkenés
- A : a próbatest oldattal érintkező felülete
- t : az oldatban eltöltött órák száma

A mért és számított eredményeket az 5. táblázat tartalmazza.

Próbatestek sorszáma	Érintkező felület (A) [m ²]	Kiinduló tömeg (m ₀) [g]	Vizsgálat utáni tömeg (m ₁) [g]	Tömegcsökkenés (Δ m) [g]	Korróziós tömegvesztés [g/(m ² h)]
1	0,001967	18,691	18,594	0,097	0,685
2	0,001967	18,644	18,551	0,093	0,657
3	0,002185	18,901	18,826	0,075	0,477
4	0,002164	18,7219	18,655	0,067	0,429

5.táblázat. A kísérlet adatai

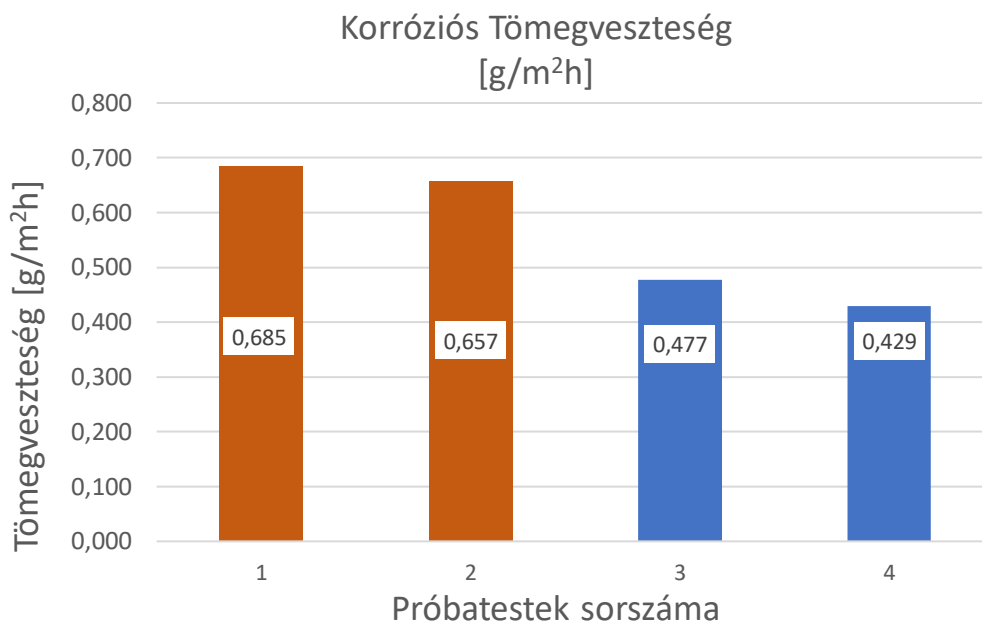
Az eredményeket a hőkezelt munkadarabok szerint is átlagoltam:

A nem mélyhűtött munkadarabból készült próbatestek átlagos korróziós tömegvesztése:

$$0,671 \left[\frac{g}{m^2 h} \right]$$

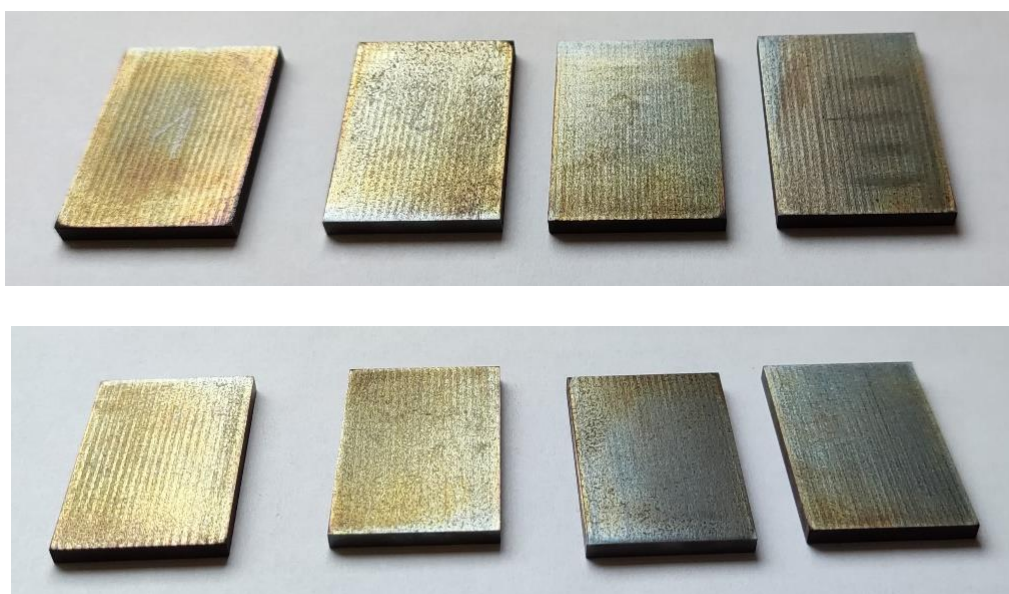
A mélyhűtött munkadarabból készült próbatestek átlagos korróziós tömegvesztése:

$$0,453 \left[\frac{g}{m^2 h} \right]$$



47.ábra. Korróziós tömegveszteség diagramja [18]

A fenti diagramon megfigyelhető eredményekből is egyértelműen látható, hogy a mélyhűtött próbatestek kevesebb tömegveszteséget szenvedtek el. Így ebből arra lehet következtetni, hogy a mélyhűtés javított a korrózióállóságon, valószínűleg a szabad króm homogénebb eloszlása miatt nagyobb összefüggő felületen képződött króm-oxid hártya. Az a próbatestek felületéről készült képeken is megfigyelhető, hogy a mélyhűtött próbatesteken kevesebb korrózió okozta elszíneződés jelentkezett (48.ábra).



48.ábra. Próbatestek mindkét oldalának felülete a vizsgálat után. A minták sorszáma rendre:

1. 2. 3. 4. [18]

6. Konklúzió

Ebben a dolgozatban egy olyan acélminőséget és hőkezelési eljárást ajánlottam a PVC alapú anyagok újrahasznosítása során alkalmazott granuláló szerszámokhoz, amellyel növelhető mind a kopásállóságuk, mind a korrózióállóságuk, és így ezeken keresztül a várható élettartamuk. Elvégeztem a próbatestek vizsgálatát, és ismertettem azok eredményeit.

A korrózióállóság növelésében a megeresztések hőmérsékletének is nagy szerep jutott. Mivel az ebben a dolgozatban ismertetett mindkét munkadarab azonos hőmérsékleteken volt megeresztve, így ezt most nem tudtam vizsgálni, de a megeresztés hőmérséklete mégis egy fontos tényező mind a korrózióállóság, mind a kopásállóság szempontjából. Jelen szerszámanyag, mint minden nagy mennyiségű karbidképző ötvözt tartalmazó acélminőség, szekunder keményedésre hajlamos. Az ezzel elérhető keménységnövekedés, és intenzívebb karbidkiválások jobb kopásállósági tulajdonságokat biztosítanak, de ekkor az anyagban lévő króm nagy része ezekben a karbidokban fog elhelyezkedni, így nem tud a felületen egy passzív oxidhártyát alkotni. Ekkor a korrózióállósága jelentős mértékben romlani fog.

A 345 °C -os, legmagasabb, megeresztési hőmérséklettel az volt a célom, hogy a gyártó által ajánlott legjobb korrózióállóságú tulajdonságokkal rendelkező tartományban maradván ugyan, a lehető legnagyobb keménységet érjem el. Ezáltal jobb kopási tulajdonságokkal rendelkező szövetet kapjak a jó korrózióállósági tulajdonság megtartása mellett.

Az elvégzett kísérletek után le tudom vonni a végső következtetéseket. Megállapíthatom, és számításaimmal alátámaszthatom, hogy az ajánlott szerszámanyag a mélyhűtési technológia alkalmazásával jobb kopási tulajdonságokat mutatott, mint a hagyományos hőkezelési eljárással kezelt munkadarab. Ez részben a nagyobb keménységének, és részben a finomabb karbideloszlásnak is köszönhető. Az acél korrózióállóságán is javított a mélyhűtés, ami fontos szempont a PVC granulálása során.

Az alkalmazott korróziós vizsgálat rámutatott, hogy egy ilyen jó korrózió ellenálló tulajdonságokkal rendelkező acélhoz, vizsgálatakor, egy erősebben igénybevevő közeget kell alkalmazni, hogy teljes mértékben megismerhessük teljesítőképessége határait.

7. Köszönetnyilvánítás

Szeretnék köszönetet mondani a Titán 94 Kft -nek, hogy a hőkezelésekhez és a metallurgiai vizsgálatokhoz rendelkezésre bocsátotta a szükséges berendezéseket, eszközöket.

A Rolló Kft -nél dolgozó Csóti Zsoltnak köszönöm, hogy felajánlotta a gyárlátogatást, és az ott dolgozó ifj. Novák Mihálynak külön köszönettel tartozom, hogy részletekbemenően bemutatta a PVC alapú műanyagok újrahasznosításának minden lépését, valamint az alkalmazott szerszámokat és gyártási folyamatokat.

A Duna Precíziós Kft -nek köszönöm, hogy a hőkezelt munkadarabokból a későbbi vizsgálatokhoz kimunkálták a próbatesteket, és az ott dolgozó Brieska Csabának, hogy hasznos tanácsaival ellátott és körbevezetett a gyártócsarnokukban.

Köszönöm az Óbudai Egyetem oktatóinak, hogy bármikor, bármilyen kéréssel fordultam hozzájuk abban a pillanatban készek voltak segítséget nyújtani, és hogy a koptató-, és korróziós vizsgálatokhoz a szükséges eszközöket a rendelkezésemre bocsátották.

Továbbá köszönöm, és nagyon hálás vagyok konzulensemnek, Dr. Tóth Lászlónak, hogy mindenben támogatott, jótanácsaival folyamatosan ellátott, és ha szükségem volt rá irányt mutatott.

Irodalomjegyzék

- [1] Rolló Kft. weboldala <https://www.rollo.hu/>
- [2] Ronkay Ferenc, Dobrovsky Károly, Toldy Andrea: Műanyagok újrahasznosítása. Printer Kiadó. Budapest, 2014.
- [3] Dr. Molnár Kolos: Anyagismereti alapok. BME Polimertechnika Tanszék, oktatási segédanyag, 2019.
- [4] BÖHLER Szerszámacélok, Nemesacélok katalógus, Böhler kereskedelmi Kft. 2009.
- [5] Dr. Szombatfalvy Árpád: A hőkezelés technológiája. Műszaki Könyvkiadó. Budapest, 1985.
- [6] Dr. Artinger István: Szerszámacélok és hőkezelésük. Műszaki Könyvkiadó. Budapest, 1978.
- [7] Dr. Kisfaludy Antal, Réger Mihály, Tóth László: Szerkezeti Anyagok I. Bánki Donát Műszaki Főiskola, Budapest, 1995.
- [8] Böhler M340 ISOPLAST szerszámanyag adatlapja
<https://www.boehler.hu/app/uploads/sites/92/2020/12/productdb/api/m340en.pdf>
- [9] Bede Martin, Dr. Tóth László: Optimális hőkezelési paraméterek meghatározása Dievar melegmunkaacél szerszámok hőkezelése során, XXX. Hőkezelő és Anyagtudomány a Gépgyártásban Országos Konferencia és Szakkiállítás, 2022.
- [10] Dr. Tóth László: Mélyhűtéssel a maradék ausztenit ellen. Mérnöki Szimpózium a Bánkin Előadásai, Óbudai Egyetem, 2021. p 181-186.
- [11] Haidong Zhang, Xianguo Yan, Qiang Hou, and Zhi Chen: Effect of Cyclic Cryogenic Treatment on Wear Resistance, Impact Toughness, and Microstructure of 42CrMo Steel and Its Optimization. Advances in Materials Science and Engineering, Volume 2021, Article ID 8870282, 2021 <https://www.hindawi.com/journals/amse/2021/8870282/>
- [12] Kovács Tünde, Dr. Dévényi László: Kopásvizsgálati eljárás fejlesztése. Anyagok Világa, V. évfolyam 1. szám, 2004. december
http://anyagokvilaga.hu/tartalom/2004/dec/05_KT_DL.pdf

[14] Németi Gergő: Hőkezelési technológia optimalizálása szerszámacél kopásállóságának növelésére. Szakdolgozat, ÓE BGK, 2018.

[15] Varga Márton Zsolt: Hidegalakító szerszám költséghatékonyságának javítása optimális alapanyag és hőkezelési technológia választásával elért élettartam növeléssel. Diplomamunka, ÓE BGK 2020.

[16] ASTM G48-11R20E01 szabvány <https://www.astm.org/g0048-11r20e01.html>

[17] Kép lyukkorrózióról és réskorrózióról <https://cromkontakt.hu/blog/tag/reskorrozio/>

[18] Saját kezűleg, illetve az általam használt készülékek által készített képek

A hivatkozások linkjeinek utolsó ellenőrzése: 2022. 11.09.