

Óbudai Egyetem

Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI DOLGOZAT

FŐTENGELY SZIMERING HÁZÖNTVÉNY ÖNTŐSZERSZÁM ÉLETTARTAMÁNAK NÖVELÉSE, MEGFELELŐ ACÉLMINŐSÉG KIVÁLASZTÁSÁVAL ÉS OPTIMÁLIS HŐKEZELÉSÉVEL

Szerző: Kertész Olivér Gábor

Gépészmérnök hallgató, BSc

Konzulens: Dr. TÓTH László

Egyetemi Docens, PhD

Budapest, 2023.

Tartalomjegyzék

1. Absztrakt.....	3
2. Bevezetés.....	4
3. A gyártmány és a Balog Metál Kft [15]	5
3.1 A cégről:.....	5
3.2. A telephelyről.....	7
3.3 A főtengely szimering házöntvény	8
A.) A termék:	8
B.) A termék anyagminősége: Al Si9Cu3 (EN-AC 46000) [8]	8
C.) A gyártás menete (6. ábra.)	9
4. A szerszám és Dunaprecíziós Kft. [14]	16
4.1 A cégről	16
4.2 A telephelyről	17
4.3 A szerszám	18
1. Változat (2., 3. és 4. Szerszám).....	19
2. Változat (5. Szerszám)	20
3. Változat (6. Szerszám)	21
4. Alkalmazott hőkezelések és a Titán 94 Kft. [13]	23
5.1 A cégről:.....	23
5.2 Alkalmazott hőkezelések.....	24
5. Vizsgálatok.....	29
5.1 Keménységmérés	29
5.2 Érdességmérés.....	30
5.3 Koptatóvizsgálat [16].....	30
6. Konklúzió	35
7. Köszönetnyilvánítás.....	35
8. Irodalomjegyzék	36

1. Absztrakt

A szerszámgyártás egyik legfontosabb feladata olyan szerszám elkészítése, amellyel garantált az optimális élettartalma. Az adott szerszám élettartama nagy gazdasági jelentőséggel bír, mivel az új szerszám beszerzése egyrészt költséges másrészt pedig az esetleges csere vagy karbantartás a gyártás ideiglenes szünetelését eredményezi, ami szintén gazdasági visszaeséshez vezet. Jelen esetben az acélszerszámok pedig még költségesebbek ezért is érdemes minél magasabb élettartamú szerszámokat alkalmaznunk. Dolgozatomban egy alumínium-ötvözet nyomásos öntőszerszám élettartamának növelése volt a feladatom. Amit egy új anyag választásával, felületkezelésével, valamint a választott anyag különféle hőkezelésével sikerült elérnem. Az adott szerszámot, amely egy főtengely szimering házöntvény készítéséhez szükséges, a Balog-Metál Kft. megkeresésére sikerült optimalizálnom Dr. TÓTH László Tanár Úr segítségével. A hőkezelési folyamatokat a Titán 94 Kft segítségével köszönhetően sikerült elérnünk, a szerszám elkészítését pedig a Duna Precíziós Kft.-nek köszönhetjük. Az eredmények alapján az újonnan választott anyagminőség, a megfelelő és modern hőkezelési technikák, a gondos felületkezelés, a régi szerszámmal szemben, sokkalta nagyobb élettartamot, kopásállóságot és korrózióállóságot tudott biztosítani ugyanazon munkafolyamatok során. Az előző szerszámhoz képest 46-szoros mennyiségű termék készülhet a szerszám cseréje nélkül.

2. Bevezetés

A szerszámkészítés nem csak korunkban kifejezetten fontos, hanem már az ősidők óta az emberiséggel párhuzamosan nő és fejlődik. A szerszámok segítségével nagyon sok munkafolyamat leegyszerűsíthető és könnyebben elvégezhető. A technológia fejlődésének köszönhetően egyre bonyolultabb és összetettebb szerszámok készülhetnek. A vasöntvények és acél korunk legelterjedtebb szerszámalapanyagai, amit sokszínű sokrétű tulajdonságainak, összetételének és hőkezelhetőségének köszönhet. Egy A szerszámkészítés során fontos figyelembe venni, hogy minél gazdaságosabb legyen, minél több hibátlan alkatrész legyártására legyen képes, ezen szempontok figyelembevételével kell megválasztani a legmegfelelőbb alapanyagot. A hőkezelési, valamint felületkezelési eljárások, pedig arra szolgálnak, hogy a választott anyag adott tulajdonságait biztosítsa, és ezen keresztül a gyártás gazdaságosságát javítsa. Dolgozatomban egy főtengeley szimering házöntvény öntőszerszám élettartamának növelése volt a célom, amelyet az alapanyag megváltoztatásával, valamint hő-, és felületkezelések segítségével értem el. Első lépésként Dr. TÓTH László Tanár Úrral meglátogattuk a Balog-Metál Kft. lőrinci gyártelepét, ahol Balog Tibor gyárigazgató körbevezetett minket és részletesen bemutatta, hogy miként készül az ALSI 9Q3 anyagból egy ilyen házöntvény. * Második lépésként pedig a Dunaprecíziós Kft.-hez látogattunk el, ahol a vizsgált szerszám eddigi minden változata készült. Ahol Brjeska Csabának köszönhetően betekintést nyerhettem a szerszámgyártás világába. Harmadik lépésként pedig a szintén Lőrinciben elhelyezkedő Titán 94 Kft. hőkezelőjét látogattuk meg, ahol a szerszám hőkezelése zajlott. Itt Bede Martin hőkezelő technikus vezetett körbe, bemutatva a hőkezelés mellett szintén szerszámgyártással foglalkozó céget. *

Dolgozatomban háromféle szerszámanyagot fogok bemutatni, amiből összesen 6 szerszám készült. Az anyagok: **

- W302 (1.2343)
- DIEVAR
- UNIMAX

A kezdeti anyag 6.000 darab alkatrész legyártására volt képes repedés nélkül az UNIMAX pedig már 280.000 alkatrész elkészítésére képes. Ami azt jelenti, hogy több mint 46-szor annyi alkatrész készül el egyetlen szerszámmal, a kezdeti szerszámhoz képest.

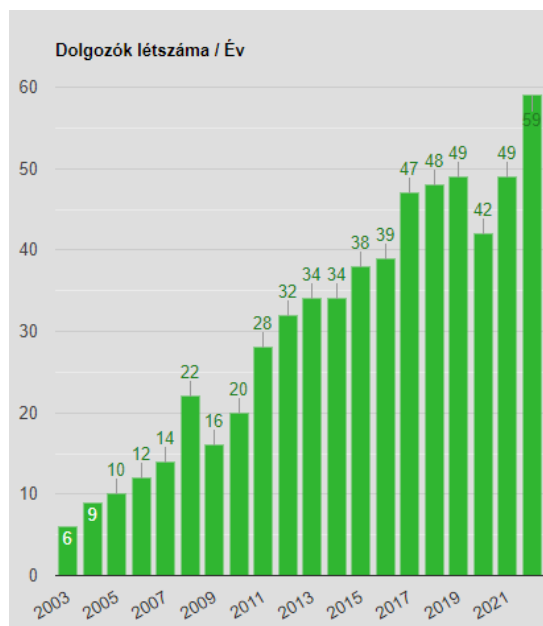
*Megjegyzés: A cégek történetét, valamint az ott tapasztaltakat a következő fejezetekben fogom kifejteni.

**Megjegyzés: Az anyagokat és tulajdonságaikat szintén a további fejezetekben szeretném bemutatni.

3. A gyártmány és a Balog Metál Kft [15]

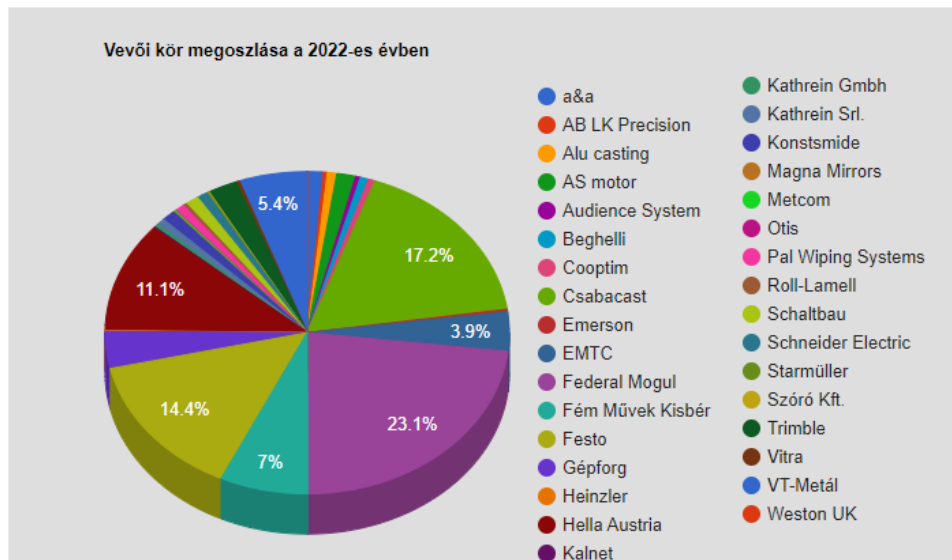
3.1 A cégről:

- A Balog-Metál Kft. 2003-ban alakult
- 2018-ban költöztek a Lőrinci telephelyükre
- a cég alapvetően egy teljes mértékben családi vállalkozás



1.ábra. A cég dolgozóinak létszáma 2003-2021

- 48 állandó megrendelő



2. ábra. A cég vevői köre 2022-ben

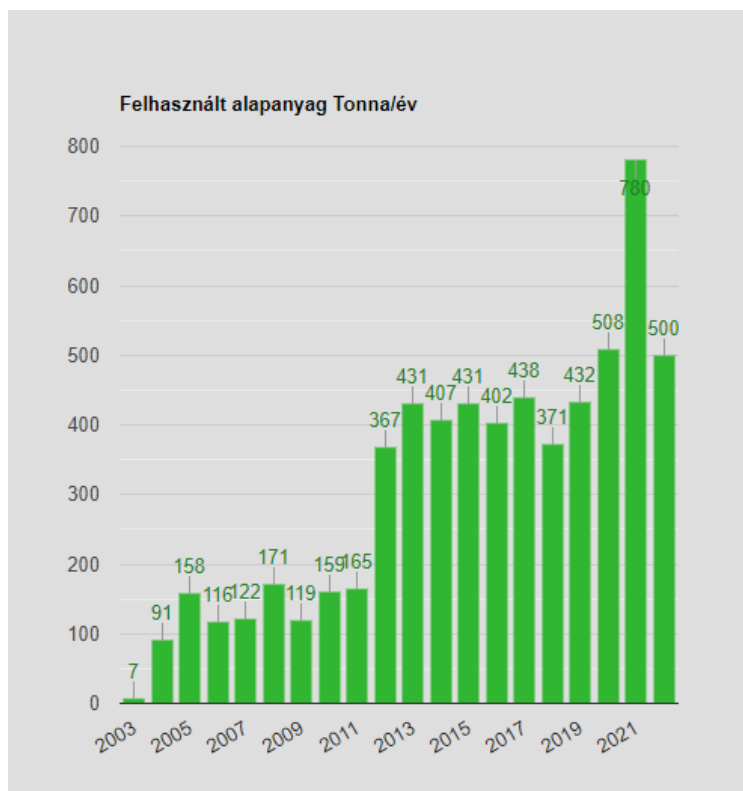
➤ 400 különféle termék gyártása



3. ábra. A gyárlátogatás során készült kép különféle itt készített termékekről

➤ főleg autóiipari termékekkel foglalkoznak

➤ az alkatrészek 40%-ban újra felhasznált 60%-ban új öntecsből készültek



4. ábra. A cég éves alapanyag felhasználása 2003-2021

3.2. A telephelyről

A telephely 2018-ban épült és azóta folyamatosan bővül és gyarapodik. Főleg alumínium öntvények gyártásával foglalkoznak. A géppark igen széleskörű választékkal rendelkezik, jelenleg 41 különféle gépet tartanak számon a gyárban. A különféle gépeket felhasználási módjuk szerint fogom csoportosítani, a dolgozathoz használtakat, pedig részletesebben fogom majd kifejteni.

A gépek:

- Függőleges öntőgépek
- Vízszintes öntőgépek
- Stancolók
- Fémtisztító berendezés
- Olvasztó kemencék
- Hőntartó kemencék
- Minőségbiztosításra használt gépek
- Megmunkáló berendezések
- Szerszámkarbantartáshoz használt gépek

3.3 A főtengely szimering házöntvény

A.) A termék:

Termékünk egy autó főtengely szimering házöntvénye. Az alkatrész melegkamrás nyomásos öntéssel készül. Az alkatrész tömege 170 g. Immáron 8 éve gyártják, heti 8.500 készül belőle, darabját 2,8 €-ért árusítják, amely ár a következő költségeket foglalja magába:

- szerszám ára
- felhasznált energia
- munkadíjak
- minőségbiztosítás

B.) A termék anyagminősége: Al Si9Cu3 (EN-AC 46000) [8]

A termékünk alapanyag öntecs mely kokilla öntéssel gyártott alumínium ötvözet, fő ötvözője a szilícium.

Az anyag mechanikai tulajdonságai:

Hőkezelés	Szakító szilárdság Rm (MPa)	Folyáshatár Rp0.2 (MPa)	Nyúlás A50 (%)	Brinell- keménység (HBS)
normál	min. 170	min. 100	min. 1	min.75

1.táblázat

Az anyag mechanikai tulajdonságai:

Korrózióállóság	Nyomásállóság	Hegeszthetőség	Forgácsolhatóság	Polírozhatóság
Gyenge	Megfelelő	Alkalmatlan	Jó	Megfelelő

2.táblázat

Az anyag fizikai tulajdonságai:

Fajsúly 20°C-on (kg/dm ³)	Lineáris hőtágulás 20-200°C-on (µm/m°K)	Hővezető képesség 20-200°C-on (W/cm)	Elektromos vezetőképesség (MS/m)
---	---	--	--

2,6	21	110-120	13-17
-----	----	---------	-------

3.táblázat

Az anyag kémiai összetétele százalékos formában:

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Pb	Sn	Ti	Egyéb	Al
8,0		2,0		0,05							0,05	
-	1,3	-	0,55	-	0,15	0,55	1,2	0,35	0,25	0,25	-	Marad
11,0		4,0		0,55							0,25	

4.táblázat

Anyagminőség - Összetétel %

ÖTVÖZET JELÖLÉS				Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Pb	Sn	Ti	Egyéb	Al
Balog Metal Kft. Jelölés		Szabvány jelölés EN AC														
Szín	Szám	Kémiai	Vegyjel													
Kék	230	44300	Al Si12Fe	10,5-13,5 (9,45-9,9)	1,0 (0,45-0,9)	0,10 (0,05)	0,65	-	-	-	0,15	-	-	0,10	max. 0,05 Össz. 0,25	Maradék
Barna	231	47100	Al Si12Cu1Fe	10,5-12,0 (9,6-1,1)	1,2 (0,6-1,1)	0,7-1,2	0,60	0,35	0,10	0,30	0,55	0,20	0,10	0,20 (0,10)	max. 0,05 Össz. 0,25	Maradék
Sárga	226	46000	Al Si6Cu1Fe	9,0-11,0	1,3 (0,8-1,1)	2,0-4,0	0,55	0,08-0,55 (0,10-0,30)	0,10	0,55	1,2	0,35	0,20	0,20 (0,20)	max. 0,05 Össz. 0,25	Maradék
Fekete	239	43400	Al Si10Mg1Fe	9,0-11,0	1,0 (0,45-0,9)	0,10 (0,05)	0,55	0,20-0,50 (0,10-0,50)	-	0,10	0,10	0,10	0,05	0,20 (0,10)	max. 0,05 Össz. 0,10	Maradék

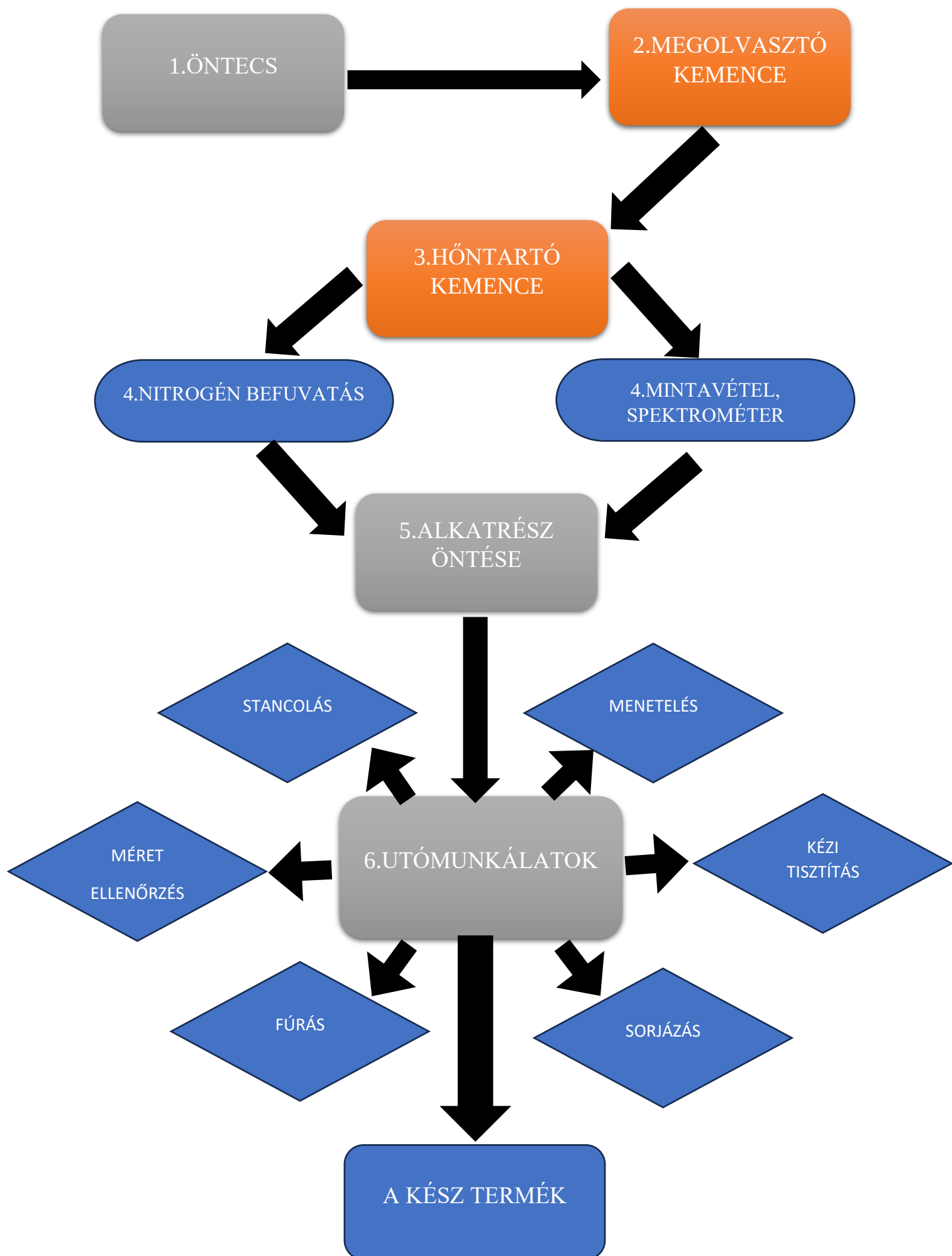
Készítette: Ifj. Balog Tibor
Minőségirányítási és Környezetvédelmi vezető

Dátum: 2005.04.09

Jóváhagyta: Balog Tibor
Ügyvezető igazgató

5. ábra. Táblázat a cégnél használatos anyagokról és összetételükről, a mi esetünkben a kft szerinti sárga jelölést kell figyelembe venni.

C.) A gyártás menete (6. ábra.)



1. A kapott anyagokat rudakban, nagy tömbökben (öntecs) kapja cég a képen látható módon:



7.ábra

2. Ezután az olvasztókemencében fogják a még rúdformájú anyagot megolvasztani. Az olvasztó kemence jelen esetünkben egy Strikomelter Plus, ami egy füstgáz kemence. Ez azt jelenti, hogy a megolvasztáshoz 950°C-os füstgázt engednek be, amíg az anyag a kívánt hőmérsékletet el nem éri.



8.ábra

(egy kép a kemencéről)

Működése 4 szakaszra bontható:

- a megolvasztani kívánt fém beadagolása az emelő és a fedél segítségével



9. ábra. A gép kijelzője, a munkafolyamat ábrázolásával

- előmelegítési szakasz 400°C-on



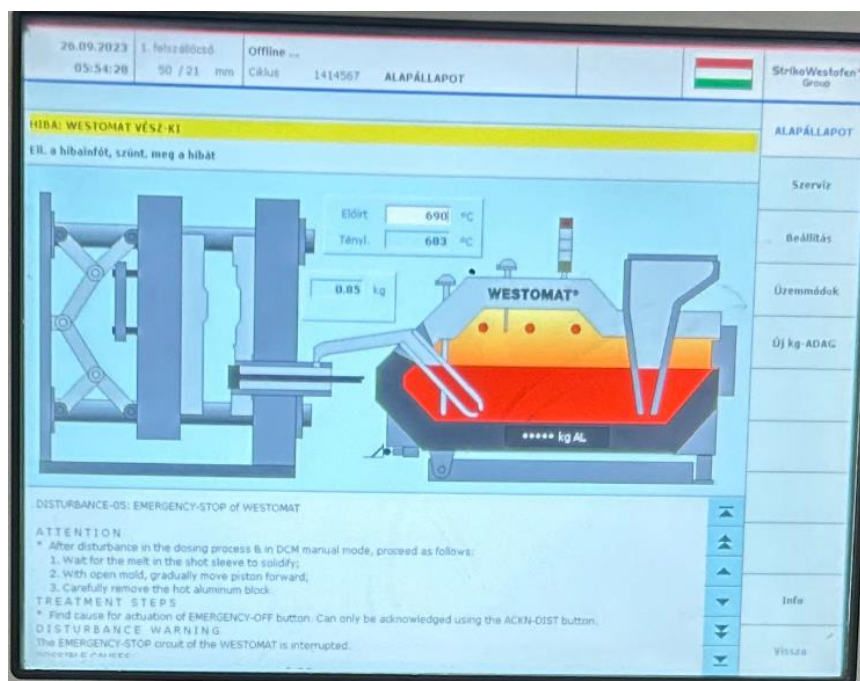
10. ábra. a kemence előmelegítő része

- megolvasztási szakasz 760°C-on
- majd a megolvasztott termék távozik a kemencéből



11. ábra. A kemence olvasztó része, ahol az anyag távozik

3. Miután a megolvasztás megtörtént az anyagunkat egy STRIKO 950 hőntartó kemencébe helyezik át, ahol mindaddig tárolják, 690°C-on, amíg felhasználásra nem kerül.



12. ábra. A hőntartó kemence kijelzője

4. Mielőtt az anyag felhasználásra kerülne igen fontos a vegyi összetétel megállapítása. Amit egy SPECTROMAX X színképelemző spektrométerrel ellenőriznek. A spektrométer működési elve arról szól, hogy mintát vesznek az anyagból, amit a megszikráztatnak és a különböző összetevők meghatározott karakterisztikájú fényt emittálnak, amely alapján az adott program segítségével megkapjuk az anyag százalékos vegyi összetételét.



13. ábra. A spektrométer

Ezzel egyidőben a káros gázzárványok eltávolítása céljából, nitrogén befúvatást végeznek egy PYROTEK 1520 STAR 3500 berendezéssel.

5. Ha a fizikai mérések megfeleltek és a fém tisztítása is megtörtént, akkor az anyagot egy OMS 450 vízszintes öntőgépbe helyezik. A 450 jelölés a gép 450 tonnás záró erejére utal. Az nyomásos öntés során a 620°C-os olvadékot 160 bar nyomással kerül az öntő szerszámba, amihez még egy 120 bar-nyi nitrogén töltőnyomás adódik. A nyomás alulról történik. A szerszám állandó jelleggel 480°C-on van tartva. Egy lövés során 2 alkatrész készül el, ami 30-40 s időt vesz igénybe.



14.ábra Az OMS 450

6. Az öntés utáni alkatrészeket, még utómunkálják:

- a) stancolás Technopress 40t
- b) sorjázás
- c) marás
- d) fúrás
- e) menetelés
- f) kézi tisztítás, szennyeződés ellenőrzés

7. A kész termék



15.ábra A szerszám utómunkálatok előtt és után

4. A szerszám és Dunaprecíziós Kft. [14]



16.ábra a Dunaprecíziós Kft

4.1 A cégről

- 1969-ben alakult, kezdetben görgősor gyártásával foglalkozott
- 1996 óta szerszámgyártás
- 1,5 tonnáig készít szerszámokat
- 21 fő dolgozik a cégnél
- A cég még arról híres, hogy extrém anyagok felhasználásával is dolgozik.
(pl.: porkohászati acélok, Vanadi 4-10)
- A cég profilja az évek során a szerszámgyártásból, az egyedi alkatrészekre váltott

	Kezdetben	Jelenleg
Szerszámgyártás	75%	25%
Egyedi alkatrész	20%	80%

5.táblázat

4.2 A telephelyről

A telep Dunakeszin található, összesen 1500 m², többszörösen felújított. Összesen 37 gép található meg a gépparkjában, amik az alábbiak:

- CNC marógépek (3,4 tengelyesek)



17.ábra NCT HT-76DT, eszterga



18.ábra NCT VD 510-s marógép

- CNC eszterga
- Hosszlyukfúró gép
- CNC megmunkáló központ
- Huzalszikra forgácsoló



19.ábra Charmilles FI 240 SLP, huzalszikra



20.ábra Sodick AG-40L, tömbszikra

- Tömbös szikraforgácsoló
- Start lyukfúró gép
- Eszterga
- Kőszűrők
- Hőkezelő kemence

- Lemezolló
- Fűrészgép
- Hidraulikus prés
- Mérőgép

4.3 A szerszám

Egy ilyen öntőszerszám tervezéséhez fontos meghatározni a gyártás során kialakuló környezeti hatásokat, igénybevételeket és ezek alapján priorizálni a legfontosabb tulajdonságokat. A tulajdonságok alapján választhatunk anyagminőséget, valamint hőkezelési technológiát. Jelen esetünkben a három legfontosabb tulajdonság a melegszilárdság, a nagy nyomás/kopástűrés és a méretstabilitás. Összesen 6 darab szerszámváltozat készült a géphez, amelyek technológia fejlődését, különbségeiket és javulásukat szeretném részletesen bemutatni.

1. Változat (1. Szerszám)

A.) Anyaga: **W302 (EN-1.2343)** [9]

Jellemzői:

- melegalakító szerszámacél
- speciális lágyítással homogenizált
- Vegyi összetétel (%)

C	Si	Mn	Cr	Mo	V
0,39	1,10	0,40	5,20	1,40	0,95

6.táblázat

- nagyon jó melegszilárdság
- nagyon jó meleg-kopásállóság
- jó szívósság
- jó hővezető képesség
- jó hőrepedés állóság
- átedzhető
- nitridálható

B.) Keménység

C.) Ajánlott keménység a katalógus szerint: 45 HRC

Általunk választott: 45 HRC

D.) Tapasztalat(ok)

- álló oldal mosódása magas
- mozgó oldal repedési tulajdonságai a zsinórperem környezetében nem megfelelőek
- 6000 db alkatrész legyártása után javításra szorul

(Megjegyzés: Kezdetben megpróbálkoztak lézeres hegesztéssel, hogy megjavítsák a szerszámot viszont utána a fentebb említett problémák, egyre hamarabb és hamarabb jelentkeztek, ezért ezt a lehetőséget hamar elvetették.)

E.) Konklúzió

Az anyagminőség tulajdonságai nem elég megfelelőek a gyártás körülményeihez, ezért egy új anyagminőség választása javasolt.

1. Változat (2., 3. és 4. Szerszám)

A.) Új anyag: **DIEVAR** [10]

Jellemzők:

- melegalakító szerszámacél
- Vegyi összetétel (%):

C	Si	Mn	Cr	Mo	V
0,35	0,20	0,50	5,00	2,30	0,60

7.táblázat *(Megjegyzés: az ötvözők ugyanazok, mennyiségileg minimálisan térnek el a korábbi anyagtól)*

- jó melegszilárdság
- kiváló edzhetőség
- kiváló szívósság
- kiváló melegalakíthatóság

(Megjegyzés: Sokkal jobb a melegszívóssága az anyagnak)

B.) Keménység

Ajánlott keménység a katalógus szerint: 44 HRC

Általunk választott: 44 HRC

C.) Tapasztalat

- Jobb eredmények 20.000 alkatrész után jelentkeztek csupán a problémák
- Kimosódások
- melegrepedések később jelentkeznek, mint az előző anyagnál

D.) Konklúzió

A választott új anyagminőség továbbra sem elég megfelelő, nem képes teljesíteni az elvárt gyártási volument, ezért egy újabb anyagminőség választása javasolt

2. Változat (5. Szerszám)

A.) Új anyag: **UNIMAX** [11]

Az UNIMAX anyagminőséget pont a minket érintő problémák megoldására szokták alkalmazni, ami jelen esetben a melegrepedések az öntőszerszámoknál, valamint a kimosódások.

Jellemzők:

- Prémium minőségű melegalakító szerszámacél
- Vegyi összetétel (%):

C	Si	Mn	Cr	Mo	V
0,50	0,20	0,50	5,00	2,30	0,50

8.táblázat (Megjegyzés: Az ötvözők továbbra is ugyanazok maradtak. Mennyiségük kis mértékben változott. A szén százalék megnövekedett.)

- kiváló melegszívósság
- magas repedésállóság
- magas kopásállóság
- megeresztésállóság
- 58 HRC keménység mellett is megtartja szívósságát

B.) Keménység

Ajánlott keménység a katalógus szerint: MAX 58 HRC

Általunk választott: 47 HRC

(Megjegyzés: A keménység növekedett, mivel az anyagminőség stabilitásának köszönhetően számunkra fontos jellemzőit magasabb keménység mellett is képes fenntartani.)

C.) Tapasztalat

- hatalmas javulások
- melegrepedések továbbra is jelen vannak

D.) Konklúzió

Az anyag maximális keménysége nincs kihasználva, ezért annak növelése érdemes. Fontos figyelembe venni oldalinként az igénybevételeket és az alapján változtatni a keménységet ott, ahol az lehetséges.

3. Változat (6. Szerszám)

A.) Anyag: UNIMAX

B.) Keménység

a.) Álló oldal

Mivel az álló oldalt csupán a rávágás környezetében való kopás terheli ezért célszerűbb a magas kopásállóság elérésének érdekében, nagyobb keménység beállítása, ami jelen esetünkben 52 HRC volt.

b.) Mozgó oldal

A melegrepedések elkerülése érdekében jelen oldalnál fontosabb a szívósság növelése a keménység növelésével szemben, ezért itt az előző esethez képest a keménység 44 HRC-re csökkent.

C.) Tapasztalat

- elképesztő mértékű javulás
- a melegrepedések szinte teljes mértékben eltűntek
- A kezdeti 6000 darab alkatrészhez képest 280.000 darab alkatrész elkészítésére képes, ami közel 46-szer annyi alkatrészt jelent.

(Megjegyzés: A cég 200.000 darab alkatrészre vállalt garanciát, de az elvárásokat még 80.000 darab alkatrésszel felülmúlta a szerszám.)

D.) Konklúzió

A kívánt élettartamot sikerült elérni és túlteljesíteni a tervezett mértéket.

Viszont a keménységet tovább növelve és a kopásállóságot javítva elméletben az élettartam még tovább lenne növelhető. Ennek pedig megfelelő eszköze egy felületkezelő eljárás lehetne. (például: AlTiN vagy TiAlN bevonattal)

4. Alkalmazott hőkezelések és a Titán 94 Kft. [13]



20.ábra Külső kép a Lőrinci hőkezelőről

5.1 A cégről:

- 1966-ban alakult
- Elsősorban Budapesten található présüzem
- 2018 Lőrinci hőkezelő telep (itt lett a szerszám hőkezelve)
- főleg autóipar (Suzuki)
- Szerszámgyártás, alkatrészgyártás és hőkezelés a főbb tevékenységek



21.ábra A hőkezelő belseje

5.2 Alkalmazott hőkezelések



22.ábra. IU72/1F 2RV 60x60x40 10 bar CP Schmetz típusú vákuum kemence és szabályozó berendezése, ebben a kemencében történtek a hőkezelések)

A szerszámacélok hőkezelésének a célja, hogy az adott szerszámunk megfelelő fizikai, termokémiai és mechanikai tulajdonságokat érjen el, amelyre az üzemeltetés során szüksége lesz. A melegalakító szerszámok folytonos hőingadozásnak vannak kitéve, ami feszültségeket kelt az anyagban, valamint megváltoztatja annak tulajdonságait. Jelen esetünkben a szerszámunkat állandó 480 °C-on tartják, amibe a beömlő olvadék hőmérséklete 620°C. A felület hőmérsékletének állandó váltakozása termikus kifáradáshoz vezethet, valamint az itt keletkezett feszültségek és hősokkok okozhatják a repedéseket, töréseket, tehát a melegszilárdság és a szívósság nagyon fontos ennek elkerülése végett. Valamint még fontos a kopásállóság is, mivel a folyamatosan beömlő olvadéknak köszönhetően erózióknak van kitéve a szerszámunk.

Az 1. szerszám

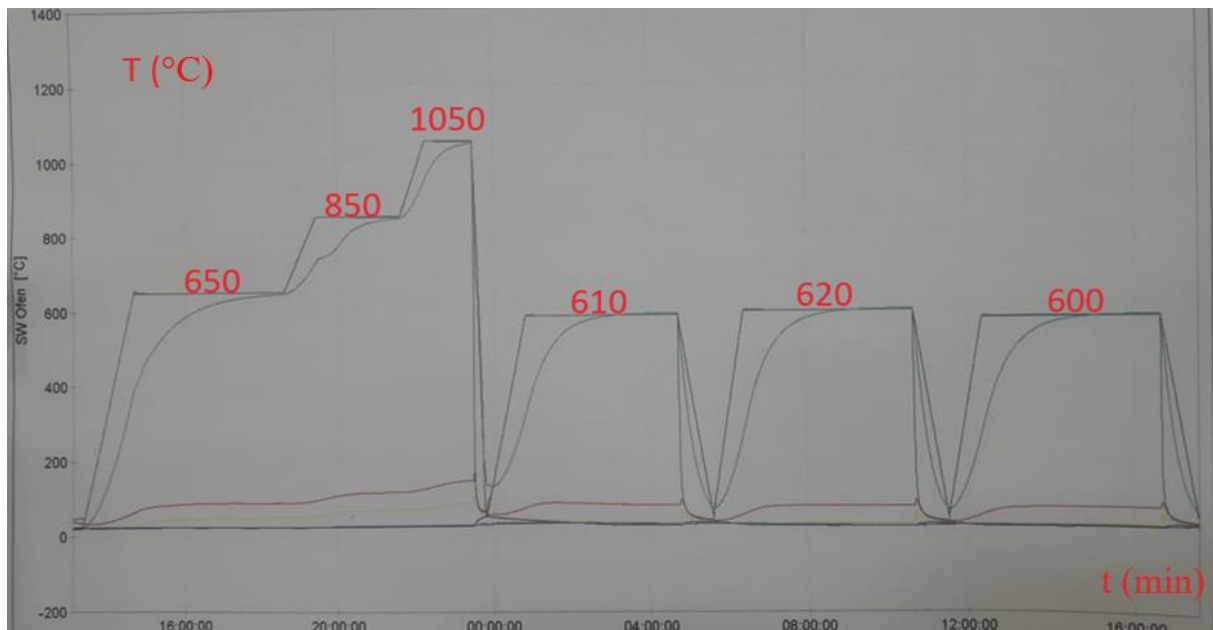
Anyag: W302

Keménység: 45 HRC

Első esetünkben 2 ciklusra tudjuk bontani a hőkezelésünket. Az első ciklusba tartozik egy lépcsőzetes edzés, aminek célja a legnagyobb keménységgel rendelkező martenzites szövetszerkezet elérése.

Az edzésnél 2 szakaszt különböztethetünk meg, a hevítést, valamint a hűtést. A hevítések során az anyagunkat adott hőmérsékletig melegítjük amíg el nem ér egy adott átalakuláshoz szükséges hőmérsékletet. Ezután, hogy az anyag teljes keresztmetszetében elérhesse az adott hőmérsékletet, valamint az átalakulások is végbe mehessenek alkalmazzák a hőntartást. Amint a szerszám teljes keresztmetszetében elérte az ausztenitesített állapotot, akkor kell lehűteni. Fontos, hogy a hűtés a v_{krit} -nél gyorsabban menjen végbe azért, hogy ne legyen az acélnek ideje diffúzióra, hanem egyből a martenzites szövetszerkezetet érjük el.

A szerszám gyártása mellett az edzés hatására is feszültség keletkeztek az anyagban, amelyet hogyha nem redukálunk az később repedéshez, vagy akár töréshez is vezethet. A feszültségek csökkentése érdekében, szükségünk van megeresztésekre [17], esetünkben háromszor is. Az edzéssel a keménységet növeltük, a megeresztés viszont a szívósságra koncentrál. Mivel a szívósság esetünkben alapvető követelmény ezért magashőmérsékletű megeresztéseket alkalmaztunk, aminek hatására az edzés utáni keménység enyhén csökken, de a szívósság jelentősen növekszik a másodlagos karbid szemcsék kialakulásának köszönhetően. Azért van szükség magas hőmérsékletű megeresztésekre, hogy az oldatban lévő karbidképző ötvözők finom diszperz karbidként válhassanak ki, ezáltal elérve a szekunder keményedést. A háromszoros megeresztés hatására a maradék ausztenit mennyiség jelentősen csökkenthető, ezáltal igen méretpontos darabok érhetőek el.



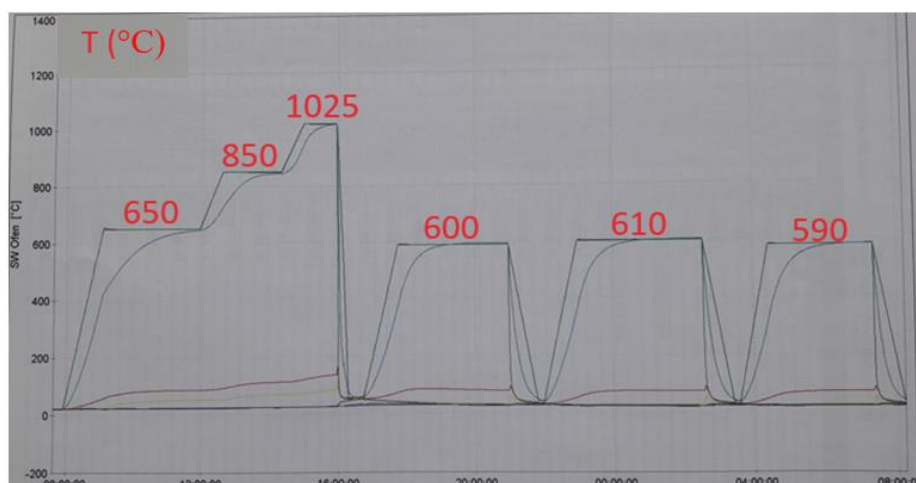
23.ábra A W302 acél hőkezelési diagrammja. A folyamatokhoz tartozó hőmérsékletekkel ellátva.

A 2. 3. és 4. szerszám

Anyag: DIEVAR

Keménység: 44 HRC

Második esetünkben az eljárás nem változott, csupán az anyagminőség változása miatt, az adott hőmérsékleteket, valamint hűtési sebességeket és az időket kellett megváltoztatni. Az eredményeket pedig az alábbi hőkezelési diagrammon szemlélteti.



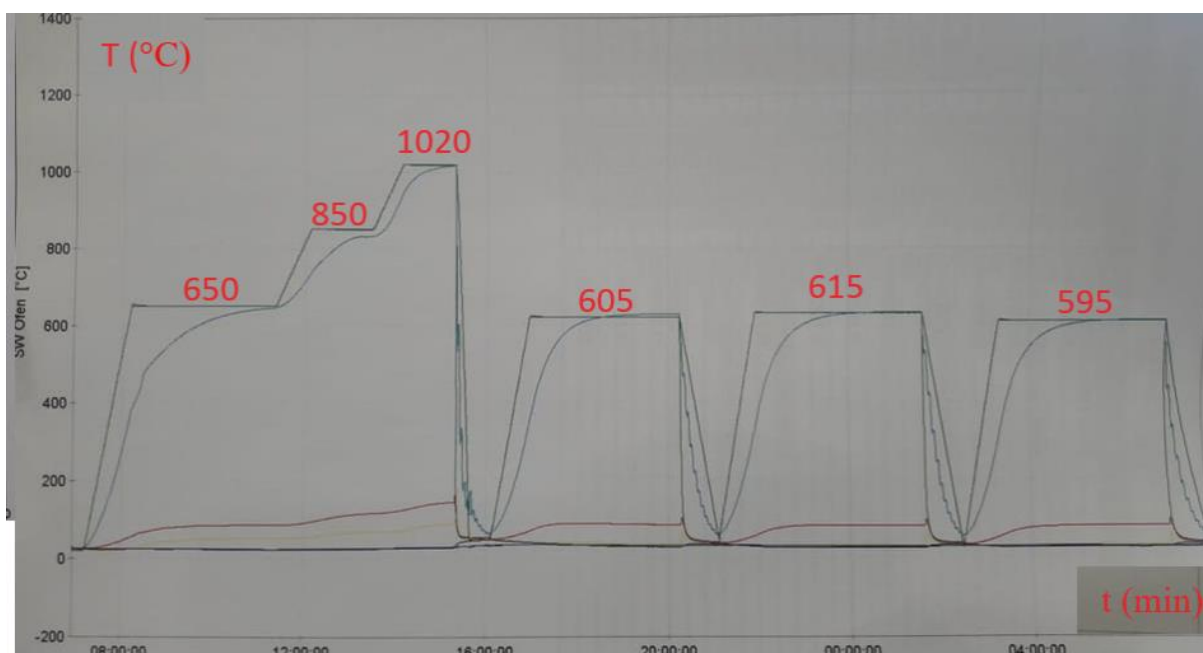
24. ábra A DIEVAR acél hőkezelési diagrammja. A folyamatokhoz tartozó hőmérsékletekkel ellátva.

Az 5. szerszám

Anyaga: UNIMAX

Keménység: 47 HRC

Harmadik esetünk során az anyagminőség ismét változott, valamint növekedett a keménység is. Az eljárás pedig ugyanúgy edzés és háromszoros megeresztés maradt.



25.ábra Az UNIMAX acél hőkezelési diagramja. A folyamatokhoz tartozó hőmérsékletekkel ellátva.



26.ábra. Szerszámok a kemencében

A 6. szerszám

Anyaga: UNIMAX

Keménység:

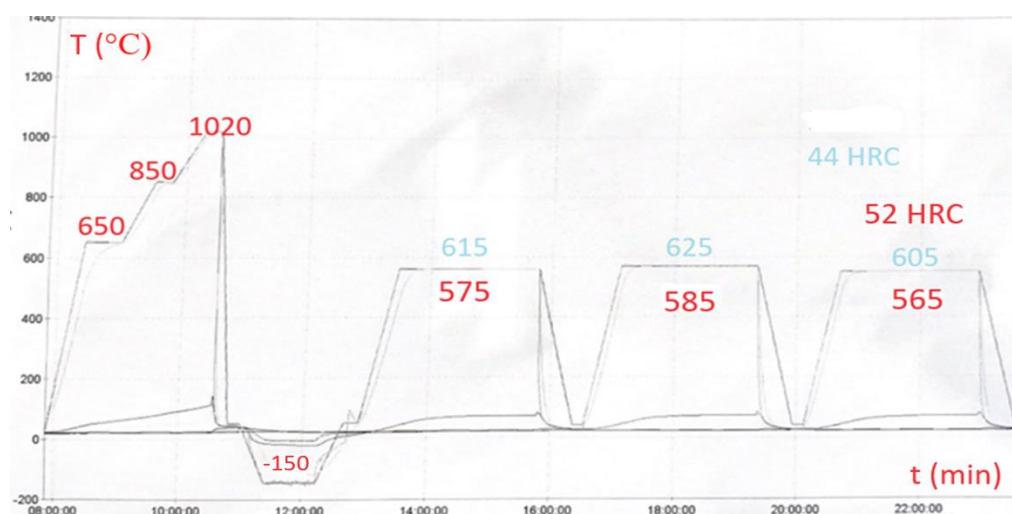
- Mozgó oldal 44 HRC
- Álló oldal 52 HRC

Anyagunk most maradt ugyanaz viszont a keménység változott, valamint szerszámon belül is eltérő, ezen felül a hőkezelési technológia is változott, mégpedig egy mélyhűtés beiktatásával közvetlenül az edzés után.

A különböző keménységeket úgy értük el, hogy a megeresztést különböző hőmérsékleteken végeztük el, az álló, illetve a mozgó oldalon.

A mélyhűtésnek több lehetséges módja is van, amelyek közül mi a folyékony nitrogén elpárologatását és befűvatást alkalmaztuk, amelynek lényege, hogy a kemence terének hűtése nitrogéngőz befűvatásával zajlik, amely ~~maximum~~ (mínusz 150)-ra képes lehűteni a szerszámot.

A mélyhűtés azért fontos, mert általában a szerszámacélok Mf hőmérséklete szobahőmérséklet alatt található, az edzés utáni hűtés viszont általában csak szobahőmérsékletig zajlik, tehát a martenzites szövetszerkezetben lesz maradék ausztenit, aminek a redukálásához mélyhűtést érdemes alkalmazni. A mélyhűtés hatására a maradék ausztenit csökkenése mellett, az anyag sokkal homogénebb lesz, amely szerkezeti stabilitáshoz, a keménység és a szívósság növekedését eredményezi.



27.ábra. A 6. szerszám hőkezelési diagramja, mélyhűtéssel

5. Vizsgálatok

5.1 Keménységmérés

Az egyik leggyakrabban alkalmazott anyagvizsgálati módszer a keménységmérés. Egy anyag keménysége azt adja meg, hogy mennyire képes ellenállni az őt érő külső mechanikai hatásoknak. Mint előzőleg is tárgyaltuk a keménység nagyon fontos az élettartam szempontjából is, ezt a tulajdonságot pedig a hőkezelések során tudjuk szabályozni.

A keménységet arra megfelelő keménységmérő gépekkel lehet megmérni. A mérőgépeket két csoportba tudjuk sorolni: statikus vagy dinamikus. Jelen esetünkben egy statikus keménységmérővel dolgoztunk azon belül is a Rockwell keménységméréssel (EN ISO 6508). A mérés lényege, hogy az anyagnak megfelelő variációjú mérést választjuk ki, ami esetünkben a HRC lesz, mivel szerszámacélunk edzett és megeresztett. A mérés során egy 120°-os csúcsszögű gyémántkúp szúrószerszámot fogunk alkalmazni. A keménység attól függ, hogy a próbatestben keletkezett benyomódás milyen mély lett.

A keménységet a Titán 94 Kft-nél végeztük egy ERNST HARDNESS TESTER mérőberendezéssel.



28.ábra A keménységmérő

Az eredményeket az alábbi táblázatban foglaltam össze:

Szerszám	Anyag	Keménység (HRC)
1. változat (Szerszám 1)	W302	45
2. változat (Szerszám 2-3-4)	DIEVAR	47
3. változat (Szerszám 5)	UNIMAX	44
4. változat (Szerszám 6; Álló)	UNIMAX	52
5. változat (Szerszám 6, Mozgó)	UNIMAX	44

9. táblázat

5.2 Érdességmérés

A koptatóvizsgálatot megelőzően nagyon fontos, hogy megvizsgáljuk mintadarabjaink felületi érdességét, mivel a koptatási tulajdonságokat jelentősen befolyásolja a felület minősége. A mérést a MarSurf GD120 érdességmérővel végeztem, amit a Mahr GmbH Németország forgalmaz.

A mérés eredményei:

Anyag:	Ra(μm)	Rz(μm)	R Sk(μm)	R Ku(μm)
W302	0,1033	0,7686	3,330	19,180
UNIMAX	0,0973	0,7617	-0,152	15,244

10.táblázat

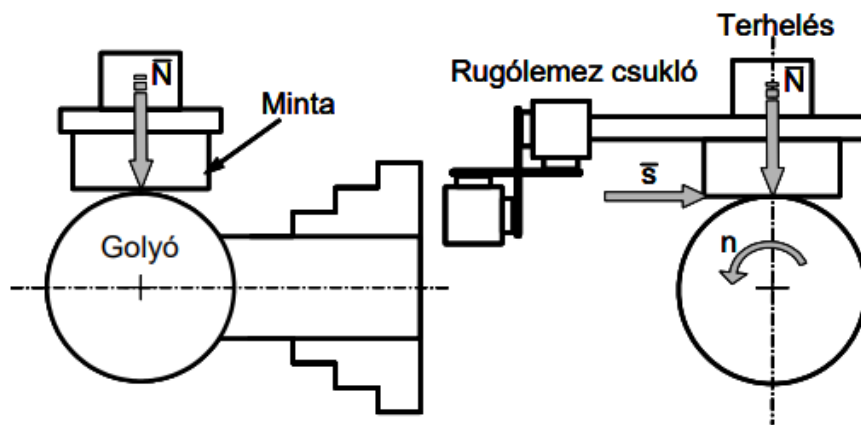
5.3 Koptatóvizsgálat [16]

A koptatóvizsgálat célja, hogy megvizsgáljuk az általunk választott anyag kopásállóságát, úgy, hogy egy olyan szerkezetbe tesszük, ahol a kopási jelenséget szimuláljuk a gyakorlati tapasztalattal szemben sokkal rövidebb idő alatt. Mindenekelőtt a vizsgálat sikeres elvégzésének érdekében szükséges néhány lépést megtennünk, amik a következők:

- Rozsda és reve eltávolítása (Fontos, hogy a felület keménysége állandó legyen minden pontban)
- Próbadarab tisztítása
- Csiszolás (Jelen esetünkben 100-as csiszolópapírtól 1000-es csiszolóvászonig jutottunk)
- Polírozás (Először 3 μm , majd 1 μm gyémántpasztával)

- Mosás, szárítás
- Tömegmérés

Ha ezen lépések teljesültek, megkezdődhet a koptatás, ami esetünkben az egyetemi koptatóberendezésen hajtottunk végre, állandó 570 1/min fordulatszámmal, 0,5 N normálerővel, darabonként 5 percen keresztül. A koptatás egy 20 mm átmérőjű kerámia golyó végzi, ami egy adott pontban koptatta a darabunkat ezáltal egy krátert kreálva a felületre, amely kráter mélységéből és adataiból tudjuk számítani a kopási állandót. Eredményeimet lentebbi táblázatban, valamint a számításokban fogom kifejezni.



25.ábra A koptató vizsgálat menete

A koptatás során 3 darab próbatestet vizsgáltunk meg:

- W302 a kezdőanyagunk megedzve, háromszor megeresztve
- UNIMAX megedzve, háromszor megeresztve
- UNIMAX megedzve, háromszor megeresztve és mély hűtve

A kopási tényező számításának képlete: $K = \frac{V_v}{s \cdot N} \text{ (mm}^3 \text{ / Nm)}$

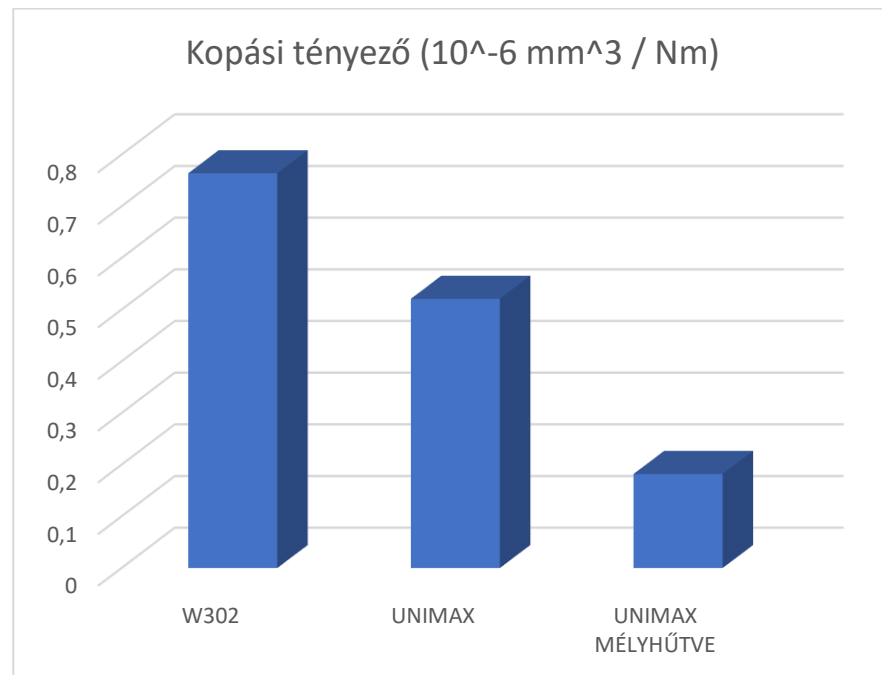
Kopásnyom átmérője: $d \text{ (mm)}$

Fordulatszám: $n \text{ (1/min)}$

Kopási úthossz: $S = n \cdot 2 \cdot r \cdot \pi \cdot t$

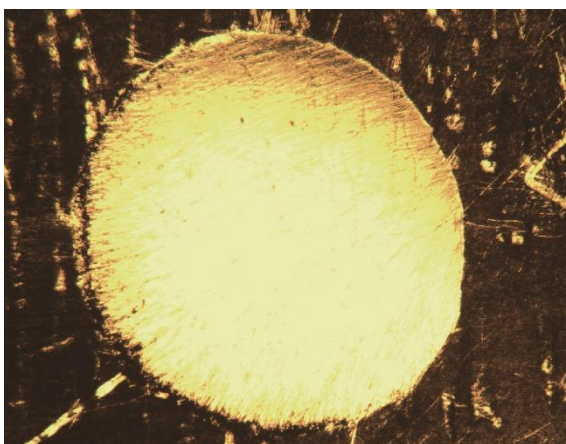
Kopási térfogat: $V_v = \frac{h \cdot \pi}{6} \cdot \left(\frac{3}{4} \cdot d^2 \cdot r^2 \right)$

Gömbcsüveg mélysége: $h = R - \sqrt{R^2 - r^2}$

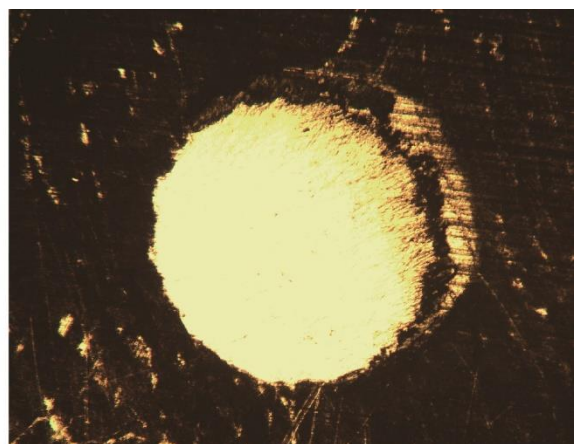


26.ábra

A koptatóvizsgálatnak köszönhetően belátást nyertem arról, hogy az adott anyagok hőkezelési technológiái, hogyan befolyásolják a kopási tényezőt. Az anyagok változtatásával 30%-kal tudtuk redukálni a kopási tényezőt, de az anyag megváltoztatásával és a mélyhűtési hőkezeléssel több mint 76%-kal csökkent a kopási tényezőnk.



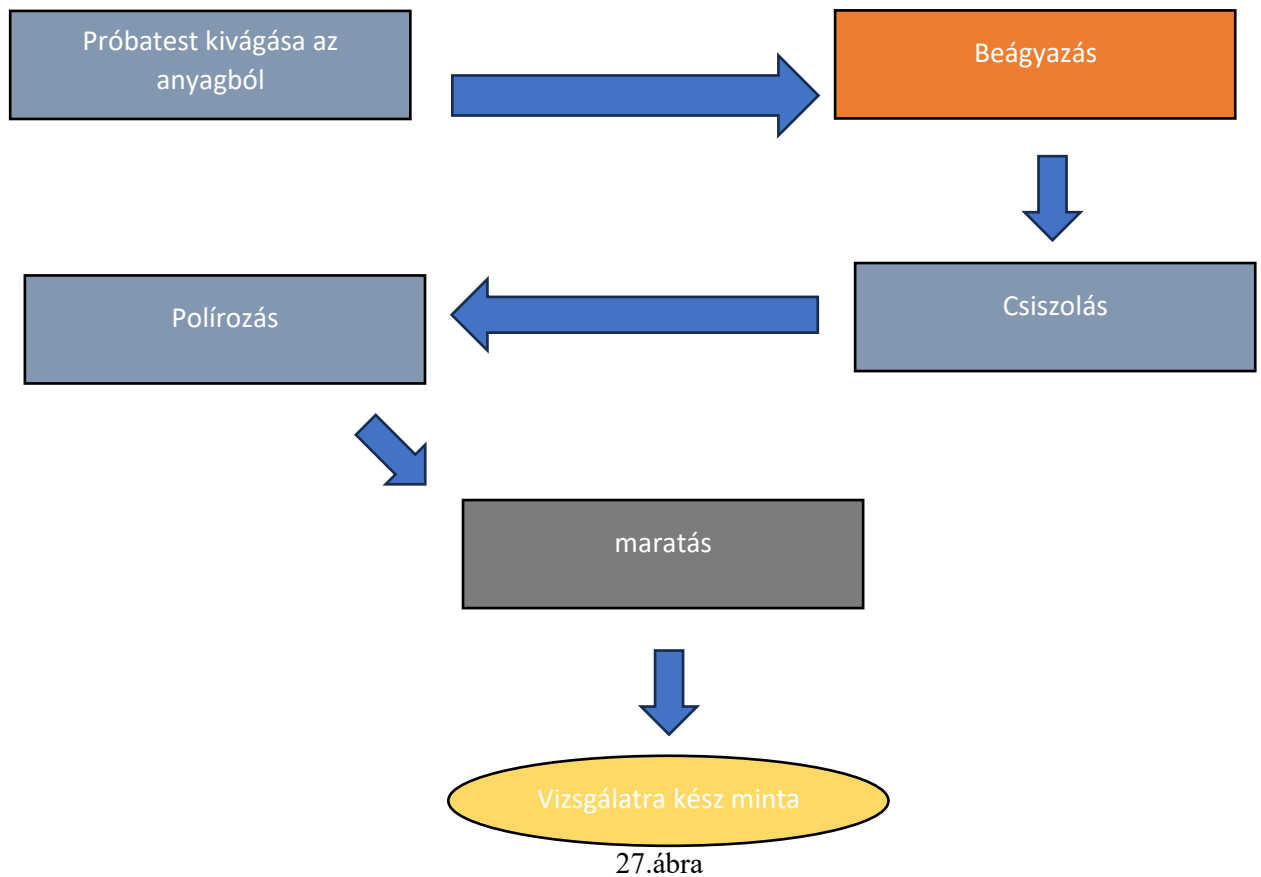
27.ábra W302 kopási krátere



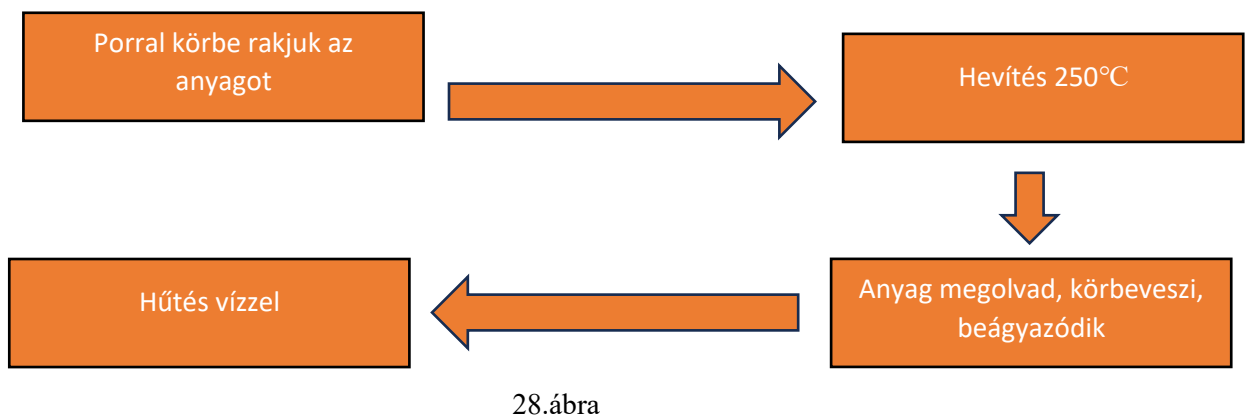
28.ábra UNIMAX kopási krátere

5.4 Mikroszkópos szövetszerkezet vizsgálat

Ahhoz, hogy végrehajthassuk vizsgálatunkat szükségünk van egy próbatestre és annak az előkészítésére. Vizsgálatunk során a kezdeti W302-t és a mélyhűtött UNIMAX-ot fogjuk elemezni. A kezdeti lépések a következők:



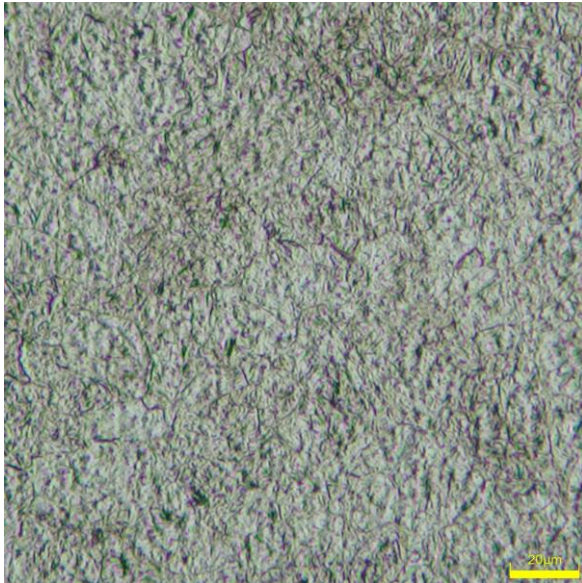
A melegbeágyazás:



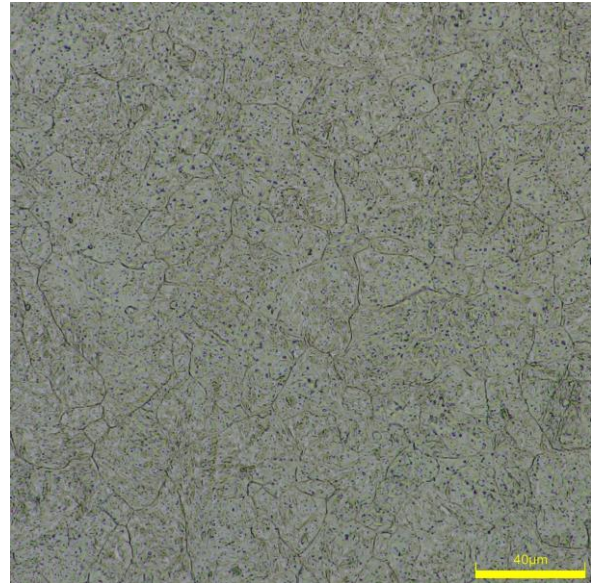
A maratás

- 4%-os Nital-lal való maratás (salétromsav alkoholos oldata)
- a sav marja az anyagot
- szövetszerkezet kihozatala

A képek 1000-szeres nagyításban készültek az Óbudai Egyetem Neophot 2 fénymikroszkópjával.



29.ábra W302



30.ábra UNIMAX

A képen látható, hogy a W302-nél nagyobb fehér szemcsék jelennek meg, amik a primer karbidok, ez annak köszönhető, hogy még maradt benne ausztenit a martenzitesítés után. Ezzel ellentétben, mivel a második képen látható UNIMAX anyagminőség már mélyhűtési eljárással készült, így megindult a szekunder kristályosodás, aminek következtében kisebb fehér szemcsék vehetőek észre a képen, amik a másodlagos karbidszemcsék.

6. Konklúzió

Dolgozatom során sikerült megtapasztalnom azt, hogy egy adott anyagminőség megválasztása és annak hőkezelése mekkora jelentőséggel bír egy ipari környezetben és mennyire fontos a gazdaságos szerszámgyártás a költségek redukálása érdekében. Valamint a vizsgálataim során is kiderült, hogy például a kopási tényezőt is mekkora mértékben befolyásolhatja egyetlen mélyhűtéses eljárás is. A szerszámunk élettartam növelése sikeresnek bizonyult, mivel a kezdeti szerszámhoz képest 46-szor annyi alkatrészt képes elkészíteni a szerszámunk utolsó variációja, ami igen gazdaságosnak bizonyult a cég számára. A további munkám során szeretném növelni még jobban az élettartamot, amelynek lehetőséget a felületkezelésben látom. Egy megfelelő bevonat kiválasztásával tovább lehetne növelni a keménységet, a kopásállóságot, amely az élettartam növeléséhez vezetne elméletileg.

7. Köszönetnyilvánítás

Szeretném megköszönni a Balog Metál Kft.-nek a lehetőséget, hogy belátást nyerhettem a cég működésébe és külön köszönettel tartozom Balog Tibornak, amiért precízen és részletesen bemutatta a gyárat, valamint a gyártmány elkészítésének pontos folyamatát.

Köszönettel tartozom még Brjeska Csabának és a Duna Precíziós Kft.-nek, amiért bemutatták a gyárukat, valamint segítettek a munkám haladását és külön próbatesteket biztosítottak a vizsgálataimnak.

Továbbá köszönettel tartozom Bede Martinnak és a Titán 94 Kft. Lőrinci hőkezelőjének, amiért kutatásom során készségesen segítettek és támogattak, valamint amiért hasznosíthattam a náluk található felszerelések valamelyikét.

Végül, de nem utolsó sorban köszönettel tartozom az Óbudai Egyetemnek és tanári karámnak a munkám során nyújtott segítségért, a vizsgálatokhoz szükséges eszközök használatáért és a támogatásért.

De a legtöbb hálával és köszönettel a konzulensemnek Dr. Tóth Lászlónak tartozom, aki szüntelen segített és támogatott a dolgozatom elkészülésének minden pillanatában, valamint amiért segített kapcsolatba lépni az adott cégekkel is. Nélküle ez a dolgozat nem valósulhatott volna meg. Köszönöm!

8. Irodalomjegyzék

- [1] Dr. Kisfaludy Antal - Dr. Réger Mihály - Tóth László: Szerkezeti anyagok I. BMF-BGK, Budapest, 1995
- [2] Pinke P. – Kovács-Coskun T.: Mérnöki anyagtudomány, Példatár I., II., ÓE BGK jegyzet, Budapest, 2013.
- [3] Czinege, Kisfaludy, Kovács, Vojnich, Verő: Anyagvizsgálat, Műszaki Könyvkiadó (BDGMF jegyzet), Budapest, 1976.
- [4] Dévényiné, Vojnich: Anyagszerkezet, Műszaki Könyvkiadó (BDGMF jegyzet), Budapest, 1988
- [5] Óbudai Egyetem Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar Gépészeti- és Technológiai Intézet Anyagtechnológiai Intézeti Tanszék -Anyagok és technológiák I. -Dr. TÓTH László, egyetemi docens, PhD
- [6] Dr. Artinger István – Szerszámacélok és hőkezelésük, Műszaki könyvkiadó, Budapest, 1978
- [7] Dr. Szombatfalvy Árpád – A hőkezelés technológiája, Műszaki könyvkiadó, Budapest, 1985
- [8] <https://www.pkontode.hu>
- [9] Uddeholm AB: Brochure Uddeholm UNIMAX (2015)
- [10] Uddeholm AB: Brochure Uddeholm DIEVAR (2015)
- [11] Böhler Edelstahl GMBH: Brochure W302 Hot Work Tool Steel, (2006).
- [12] Patricia Jovičević-Klug, László Tóth, Bojan Podgornik, *Comparison of K340 Steel Microstructure and Mechanical Properties Using Shallow and Deep Cryogenic Treatment* (2022)
- [13] <https://www.titan94.hu>
- [14] <https://www.dunaprec.hu/hu/>
- [15] <https://balogmetal.hu>
- [16] László TÓTH, Enikő Réka FÁBIÁN, Zoltán NYIKES, Ion Aurel PERIANU, Tünde Anna KOVÁCS *Effect of Surface Coatings on the Service Life of Unimax Casting Tool Steel* (2022)
- [17] Drs David Schwam, John F. Wallace *Improving Tool Life for Aluminium Die Casting Dies* (1995)
- [18] L.A. Dobrzanski, M. Polok, M. Adamiak *Structure and properties of wear resistance PVD coatings deposited onto X37CrMoV5-1 type hot work steel* (2005)

[19] Marek Hawryluk, Marzena Lachowicz, Maciej Zwierzchowski, Marta Janik, Zbigniew Gronostajski, Jarosław Filipiak *Influence of the grade of hot work tool steels and its microstructural features on the durability of punches used in the closed die precision forging of valve forgings made of nickel-chrome steel (2023)*

[20] D. Monah Lal, S Renganarayanan, A. Kalanidhi *Cryogenic treatment to augment wear resistance of tool and die steels (2000)*