



Öntőszerszámok élettartamának növelése mélyhűtéses hőkezeléssel

Extending the Lifetime of Die Casting Tools with Cryogenic Heat Treatment

Kertész Olivér Gábor,¹ Tóth László²

¹ Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar. Budapest, Magyarország, k.oliver0917@gmail.com

² Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar. Gépészeti és Technológiai Intézet, Anyagtechnológiai Intézeti Tanszék. Budapest, Magyarország, toth.laszlo@bgk.uni-obuda.hu

Abstract

In our work, we aimed to increase the lifespan of tools used in pressure die casting. We conducted experiments on test specimens made from two types of base materials, which were subjected to various heat treatments, followed by material testing on the specimens. In parallel, the final tools were also produced, and parts were manufactured using these tools. Based on the results of the experiments and production, considering both quality and economic aspects, the most suitable base material proved to be the electroslag remelted tool steel, for which we applied cryogenic heat treatment. To enhance the tool lifespan, we performed additional heat treatments on the optimal material, as well as optical microscopy examinations and hardness measurements.

Keywords: tool steel, die, lifetime, cryogenic treatment.

Összefoglalás

Munkánk során a nyomásos öntés szerszámai élettartamának növelését céloztuk meg. Kísérleteket végeztünk kétféle alapanyagból készült próbatesteken, melyeket különböző hőkezelésnek vetettünk alá, és a próbatesteken anyagvizsgálatokat végeztünk. Ezzel párhuzamosan a szerszámok is elkészültek, amelyekkel alkatrészek gyártását is elvégezték. A kísérletek és gyártás eredményei alapján, minőségi és gazdaságossági szempontokat figyelembe véve, a legmegfelelőbb alapanyagnak az elektroszalakos átolvasztással gyártott szerszámacél bizonyult, amelynél mélyhűtéses hőkezelést alkalmaztunk. Az élettartam-növeléshez legmegfelelőbb anyag hőkezeléseket végeztünk, továbbá optikai mikroszkópos vizsgálatot és keménységméréseket is.

Kulcsszavak: szerszámacél, öntőszerszám, élettartam, mélyhűtéses hőkezelés.

1. Bevezetés

A nyomásos öntést precíz, bonyolult geometriájú öntvények gyártásánál alkalmazzák, amelyek nagyrészt járműipari alkatrészek. A termék megfelelő tisztaságához, homogenitásához és az optimális szövetszerkezet eléréséhez fontos a gondosan kiválasztott alapanyag meghatározása, valamint a megfelelő gyártási technológia megtervezése [1, 2]. Az öntőszerszám-alapanyag minősége függ az acélgyártási technológiától is,

amely lehet hagyományosan gyártott, átolvasztott vagy porkohászati úton legyártott alapanyag [3]. Kísérleteink során egy hagyományosan öntött és egy elektroszalakosan átolvasztott anyagminőségben végeztünk vizsgálatokat. Az elektroszalakosan átolvasztott acél abban különbözik a hagyományosan gyártottól, hogy tisztább, szennyezőktől mentes, majdnem zárványmentes és szerkezeti-leg homogénebb. Az elektroszalakos átolvasztás további jellemzői: nincs makrodúsulás, csekély

a mikrodúsulás, kitűnő anyagtulajdonságok [4]. A kiválasztott alapanyagok a melegalakító szerszámacélok családjába tartoznak, melyek három legfontosabb jellemzője: a melegsizlárság, a melegsizvósság és a meleg-kopásállóság. E tulajdonságokat a vegyi összetételük és a megfelelő hőkezelés segítségével érhetjük el. A melegalakító szerszámacélokra jellemző, hagyományos hőkezelési eljárás feszültségcsökkentésből, edzésből és megeresztésből áll. Egy, a hagyományostól eltérő eljárás a mélyhűtéses hőkezelés. Vizsgálataink során mind a kétfajta hőkezelést alkalmaztuk. Ezek közül a mélyhűtéses hőkezelés bizonyult a legjobbnak, melyet az elért keménységi értékek és a megfelelő szövetszerkezet is igazol. A mélyhűtés utáni szövetszerkezetben a maradék ausztenit mennyisége minimális. Az öntőszerszámok élettartamának jellemzésére az ún. lövésszám szolgál, ami azt adja meg, hogy az adott szerszám optimális működtetés mellett és beavatkozás nélkül hány lövést képes elviselni. A szakirodalom szerint alumíniumöntvények esetében ez a szám 75 000 és 150 000 lövés közé tehető [1, 2].

2. Anyagok, eszközök, berendezések, módszerek

2.1. Anyagválasztás

Tanulmányunk során egy gépkocsi-szimering-ház alumíniumöntvény nyomásos öntőszerszámaival kísérleteztünk. Ez bonyolult alakú szerszám, különböző falvastagságokkal, emiatt is érzékeny a hőre, a nyomásra és a különböző igénybevételekre. A szerszám anyagválasztása során figyelembe kell vennünk az anyag azon tulajdonságait, amelyek befolyásolják az élettartamát. A cél a kopási folyamat csökkentése, valamint a repedések, szerszámtörések megelőzése. A melegalakító szerszámacélok esetében a fellépő igénybevételek mellett fontos tényező a termikus kifáradással szembeni ellenállás is, amely megelőzi a repedések kialakulását [5].

A szerszámacélok legfontosabb ötvözőeleme a szén, ami nagy hatással van az ötvözet tulajdonságaira. A széntartalom növelésével nő a szilárdság, az edzhetőség, valamint csökken a nyúlás, az alakíthatóság, a hegeszthetőség és a megmunkálhatóság. A szilícium elsősorban dezoxidál, ezenkívül növeli a szilárdságot, a kopásállóságot és a hőállóságot. A mangán dezoxidál, a kénnel mangán-szulfidot képezve gátolja a vöröstörékenységet, csökkenti a kritikus hűtési sebességet és javítja az edzhetőséget. A króm karbidképző ötvöző. A mangánhoz hasonlóan csökkenti a kri-

tikus sebességet, ezáltal növeli az edzhetőséget és az átedzhetőséget. Javítja a melegsizlárságot és a reveállóságot. A molibdén karbidképző ötvöző, amely szintén a kritikus hűtési sebesség csökkentésére szolgál, így az edzhetőséget és az átedzhetőséget is javítja. Elősegíti a finom szemcseképződést, növeli a szilárdságot és a kopásállóságot. A vanádium egy nagyon erős karbidképző, amely javítja a szívósságot, növeli a melegsizlárságot és a megeresztésállóságot [6].

Kezdetben a Böhler W302 anyagminőségű szerszámacélt használtuk. Ez hagyományos öntéssel készült melegalakító szerszámacél. Az ebből anyagból gyártott szerszám hagyományosan hőkezelve működése során 6000 lövést volt képes produkálni hibamentesen. Ekkor mikropredések jelentkeztek a szerszám kritikus keresztmetszetében, melyek felrakóhegesztéssel lettek kijavítva, de az élettartam így is csak minimálisan volt növelhető [7]. Ezek után próbálkoztunk az Uddeholm Unimax anyaggal, amely elektrosalagosan átolvasztott szerszámacél. Ezen acélok vegyi összetételét az 1. táblázat szemlélteti.

1. táblázat. Az alkalmazott szerszámacélok vegyi összetételei

	C (%)	Si (%)	Mn (%)	Cr (%)	Mo (%)	V (%)
W302	0,39	1,0	0,40	5,20	1,40	0,95
UNIMAX	0,50	0,20	0,50	5,00	2,30	0,50

2.2. Eszközök, berendezések

2.2.1. A hőkezelő kemence

A szerszámok hőkezelése Schmetz típusú vákuumkemencében zajlott (1. ábra). Az elektromos vákuumkemence fűtése vákuumban, hűtése nitrogéngázzal, mélyhűtése folyékony nitrogén porlasztásával és annak befecskendezésével történik.



1. ábra. A hőkezelő kemence

2.2.2. Mikroszkópos szövetszerkezet-vizsgálat

Az optikai mikroszkópos szövetszerkezet-vizsgálatot egy Neophot 2 fénymikroszkóppal végeztük el, és a képeket 1000-szeres nagyításban készítettük.

2.2.3. Böhler W302 szerszámacél hőkezelése

A hőkezelést általában csak egy kész méretre való simítás követi, ezért is nagyon fontos a hőkezelési technológia megtervezése, ugyanis ez határozza meg a szerszám végső tulajdonságait. A hőkezelések hevítések, hűtési tartásokból és hűtések, törések okozói lehetnek. Ezért is fontos a gyártás és a hőkezelés előtti feszültségcsökkentés. A feszültségcsökkentés során a szerszámot lassan hevítettük 2 bar nyomású nitrogén védőgázban 650 °C-ig, ezt követően 2 órát hűtöttük, majd lassan szobahőmérsékletre hűtöttük (2. ábra).

2.2.3.1. Feszültségcsökkentő izzítás

Feszültségcsökkentésre azért van szükség, hogy a szerszám gyártása során képződött maradó feszültségeket feloldjuk. Edzés után is képződhetnek termikus belső feszültségek, melyek összeadódhatnak a gyártás során képződő maradó feszültségekkel. E feszültségek összessége mikropedések, törések okozói lehetnek. Ezért is fontos a gyártás és a hőkezelés előtti feszültségcsökkentés. A feszültségcsökkentés során a szerszámot lassan hevítettük 2 bar nyomású nitrogén védőgázban 650 °C-ig, ezt követően 2 órát hűtöttük, majd lassan szobahőmérsékletre hűtöttük (2. ábra).

2.2.3.2. Edzés

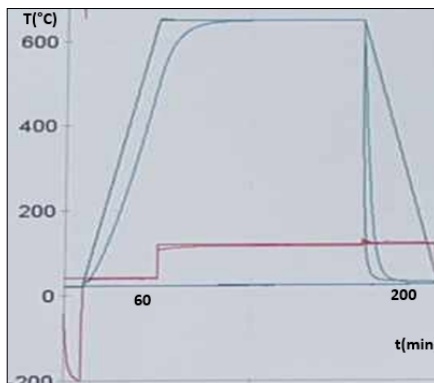
A feszültségcsökkentést az edzés követte, amely során a vákuumban háromlépcsős hevítést alkalmaztunk, hogy a szerkezeti átalakulások előtt kiegyenlítődjön a hőmérséklet a felület és a mag között, a fázisátalakulás okozta feszültségek megelőzésének céljából. Az edzési hőmérsékletet a Böhler W302 anyagból készült szerszám esetében 1020 °C-ra határoztuk meg. Ennek elérése után 15 perces hűtési tartás következett a homogén ausztenit kialakulása céljából (3. ábra).

2.2.3.3. Megeresztések

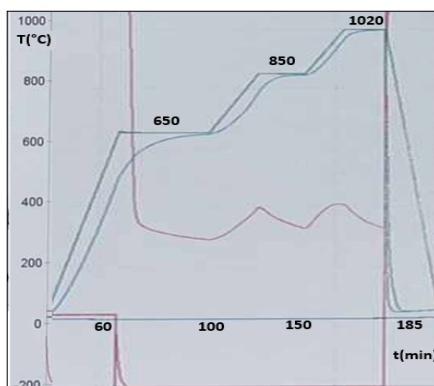
A megeresztések célja a keménység-szívósság arány beállítása, a feszültségek csökkentése és a maradék ausztenit mennyiségének csökkentése. A Böhler W302 anyagú szerszám esetében a háromszori, nagy hőmérsékletű megeresztést alkalmaztuk (4. ábra) [8, 9, 10].

2.3. Uddeholm UNIMAX szerszámacél hőkezelése

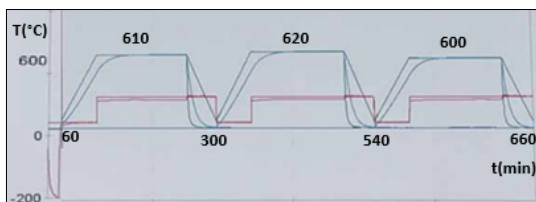
A mélyhűtéses hőkezelés célja a maradék ausztenit mennyiségének csökkentése, ami a homo-



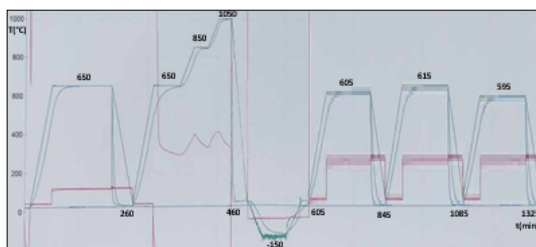
2. ábra. Feszültségcsökkentő izzítás



3. ábra. Edzés



4. ábra. Megeresztések



5. ábra. Az Uddeholm UNIMAX szerszám hőkezelési diagramja

genitás javulásához, szerkezeti stabilitásához, a keménység és a szívósság növeléséhez is vezet, e tényezők javításával a szerszám élettartama is növekszik. A mélyhűtésnek több lehetséges módja van, amelyek közül mi a folyékony nitrogén elpárologatását és befűvátását alkalmaztuk, melynek lényege, hogy a kemence terének hűtése porlasztott nitrogén befűvátásával zajlik, így a szerszám $-150\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ra hűthető. Az Uddeholm UNIMAX szerszámacél esetében az edzési hőmérsékletet $1050\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ra határoztuk meg, és ezen a hőmérsékleten 20 percig tartottuk hőn [8, 11]. A hőtartást követően 8 bar-os nitrogéngázzal hűtöttük $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ig, amely után következett a mélyhűtés folyékony nitrogén segítségével. A nagy hőmérsékletű megeresztéseket 2 bar nyomású nitrogéngázban végeztük el (5. ábra).

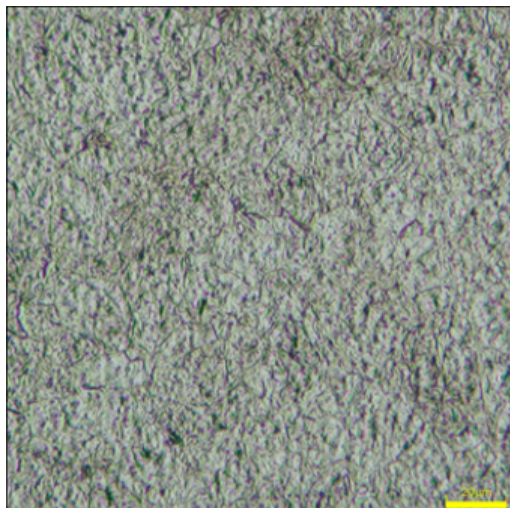
3. Mérési eredmények

3.1. Keménységmérés

A Böhler W302 szerszám hőkezelés utáni keménysége 45 HRC, az Uddeholm UNIMAX acélból készült szerszám hőkezelés utáni keménysége pedig 48 HRC lett, ezen eredményeket a 2. táblázat szemlélteti.

2. táblázat. A keménységek táblázatos formában

Szerszámanyag	Átlagos keménység (HRC)
Böhler W302	45
Uddeholm UNIMAX	48



6. ábra. Böhler W302 szerszámacél szövetszerkezete hagyományos hőkezeléssel

3.2. Mikroszkópos szövetszerkezet-vizsgálat

A szövetszerkezet-vizsgálatot próbatest-előkészítés után optikai mikroszkóppal végeztük, melyeket a 6. és 7. ábrák szemléltetnek. A mikroszkópos képeken megfigyelhető, hogy az átolvasztott és mélyhűtött acélminőség esetében a maradék ausztenit minimalizálódott és a szekunder karbidok mennyisége megnövekedett.

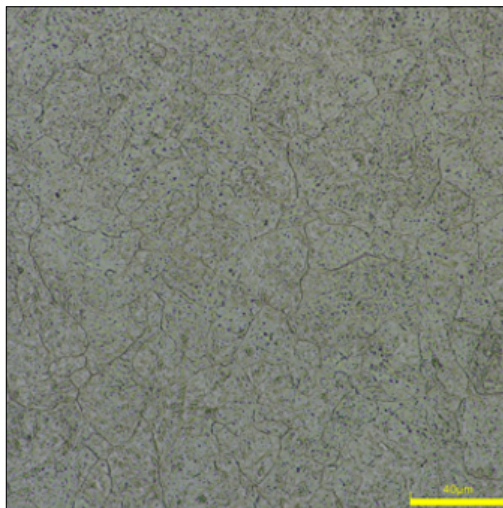
4. Következtetés

A nyomásos öntőszerszám élettartama növelhető a megfelelő gyártástechnológiával készült alapanyag kiválasztásával, mint például az elektroslakosan átolvasztott acél. A szerszám hőkezelése során alkalmazott mélyhűtéssel a maradék ausztenit mennyisége csökkenthető és az optimális szövetszerkezet elérhető, ami szintén a szerszám élettartamának növeléséhez vezet. A szóban forgó gépkocsi szimeringház-öntőszerszám élettartama a jól kiválasztott alapanyaggal és megfelelő hőkezelésekkel gazdaságossági szempontból is kiváló eredményeket képes mutatni. Így a szerszám élettartamát közel 47-szeresére sikerült növelni (3. táblázat).

3. táblázat. Élettartamok táblázatba foglalva

Szerszámanyag	Élettartam (lövésszám)
Böhler W302	6000
Átlag	75 000–150 000
Uddeholm UNIMAX	280 000

A további élettartam-növelési lehetőséget a felületkezelésben látjuk. Egy megfelelő PVD-bevo-



7. ábra. Uddeholm UNIMAX szerszámacél szövetszerkezete mélyhűtéses hőkezeléssel

nat alkalmazásával tovább növelhető a felületi keménység, a kopásállóság, és ezáltal a szerszám élettartama is [12, 13].

Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretnénk köszönetet mondani az Óbudai Egyetem Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Karának a labor használatáért, illetve támogatásáért. Továbbá köszönettel tartozunk még az Erdélyi Múzeum-Egyesületnek, mely a XXIX. Fiatal Műszakiak Tudományos Ülésszaka konferencia keretein belül lehetőséget adott a téma előadására és a cikk megvalósulására.

Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Dúl J.: *Nyomásos öntészeti ismeretek* (digitális tananyag). Miskolci Egyetem, 2009.
- [2] Szabó R.: *Öntéstechnikai és hőtechnikai paraméterek hatása az alumínium nyomásos öntvény szilárdsági tulajdonságaira*. (Phd-értekezés) Miskolc, 2012.
- [3] Pribulova A., Futas P., Barosová M.: *Cleanness and Mechanical Properties of Steel after Remelting under Different Slags by ESR*. Key Engineering Materials, 655. (2014) 112–117.
<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.635.112>
- [4] Halfa H. A., Reda A. M.: *Electroslag Remelting of High Technological Steels*. Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering, 3. (2015) 444–457.
<https://doi.org/10.4236/jmmce.2015.36047>
- [5] Uddeholm AB: Brochure Uddeholm UNIMAX. 2015.
- [6] Hawryluk M., Lachowicz M., Zwierzchowski M., Janik Marta, Gronostajski Z., Filipiak J.: *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*. Wear, 528–529. (2023) 204963.
<https://doi.org/10.1016/j.wear.2023.204963>
- [7] Böhler Edelstahl GmbH: Brochure W302 Hot Work Tool Steel. 2006.
- [8] Tóth L.: *Reduction of retained austenite in tool steels*. Műszaki Tudományos Közlemények, 16. (2022) 52–57.
<https://doi.org/10.33894/mtk-2022.16.10>
- [9] Artinger I.: *Szerszámacélok és hőkezelésük*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1978.
- [10] Szombatfalvy Á.: *A hőkezelés technológiája*. Műszaki könyvkiadó, Budapest, 1985.
- [11] Mohan L. D., Renganarayanan S., Kalanidhi A.: *Cryogenic treatment to augment wear resistance of tool and die steels*. Cryogenics 41/3. (2000) 149–155.
[https://doi.org/10.1016/S0011-2275\(01\)00065-0](https://doi.org/10.1016/S0011-2275(01)00065-0)
- [12] Dobrzański L. A., Polok M., Adamiak M.: *Structure and properties of wear resistance PVD coatings deposited onto X37CrMoV5-1 type hot work steel*. Journal of Materials Processing Technology, 164–165. (2005) 843–849.
<https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2005.02.164>
- [13] Bitay E., Tóth L., Kovács T. A., Nyikes Z., Gergely A. L.: *Experimental Study on the Influence of TiN/AlTiN PVD Layer on the Surface Characteristics of Hot Work Tool Steel*. Open Journal of Applied Sciences 11/19 (2021).
<https://doi.org/10.3390/app11199309>
- [14] Schwam D., Wallace J. F.: *Improving Tool Life for Aluminium Die Casting Dies*. 1995.
- [15] Arh B., Podgornik B., Burja J.: *Electroslag Remelting: A Process Overview*. 2016.