



UNIMAX szerszámacél tulajdonságainak javítása felületbevonatolással

Improving the Properties of UNIMAX Tool Steel by Surface Coating

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

The aim of this study was to determine the extent to which surface coating can improve the service life and mechanical properties of tools made from UNIMAX steel. Two specimens with identical composition and heat treatment were used, one of which was coated with a CrAlN-based BALINIT FORMERA layer. Microhardness measurements, wear tests, and microscopic analyses were carried out during the investigation. The results clearly demonstrated that the coating significantly increases the tool's lifetime and enhances its mechanical properties.

Keywords: *tool steel, tool service life, surface coating, material testing.*

Összefoglalás

A kutatás célja annak a meghatározása volt, hogy a felületbevonatolás milyen mértékben képes javítani az UNIMAX acélból készült szerszámok élettartamát és mechanikai tulajdonságait. A vizsgálatok során két, azonos összetételű és hőkezelési eljárással előállított próbatestet használtunk, amelyek közül az egyiket CrAlN-alapú BALINIT FORMERA bevonattal láttuk el. A tesztek során mikrokeménység-méréseket, kopás-vizsgálatokat és mikroszkópos vizsgálatot végeztünk. Az anyagvizsgálati eredmények egyértelműen igazolták, hogy a bevonatolás jelentősen növeli a szerszám élettartamát és javítja annak mechanikai tulajdonságait.

Kulcsszavak: *szerszámacél, szerszámélettartam, felületi bevonatolás, anyagvizsgálat.*

1. Bevezetés

Előzetes kutatásaink során egy nyomásos öntőszerszám élettartamának növelésével foglalkoztunk, amely kutatások során sikerült meghatározni egy optimális anyagminőséget és a neki megfelelő hőkezelést. A szerszám élettartama növelésének további lehetőségeire a bevonatolási technológiák kutatását határoztuk meg [1].

Az Uddeholm cég által gyártott UNIMAX szerszámacél sokféle szerszámozásnál alkalmazható, például:

- műanyagalakító szerszámok,
- megalakító szerszámok,
- nyomásos öntőszerszámok.

A rövid ciklusidő és a hosszú élettartam hozzájárul a gazdaságos gyártáshoz. Nagy keménységű, kopásálló, de emellett szívós szerszámok készülnek ebből az alapanyagból [2]. Az UNIMAX kitűnő tulajdonságú acél, ami annak köszönhető, hogy elektroszalakosan átolvasztott, aminek eredményeképpen a kéntartalom, a dúsulások és a nemfémes zárványok jelenléte is minimális [3]. Nagy tisztaságú, növelt homogenitású és jó melegszívóságú.

Az irányított kristályosodás hatására finom szemcseszerkezet és kisebb méretű karbidszemcsék érhetők el.

Ez az acél krómmal, molibdénnel és vanádiummal van ötvözve, ennek köszönhető a jó melegszívósság, a megeresztésállóság és a felületkezelhetőség (1. táblázat).

1. táblázat. Az UNIMAX szerszámacél vegyi összetétele

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

Hőkezelés után jó mérettartóságú és jól polírozható. Ezek a kedvező tulajdonságok az élettartam növeléséhez a megfelelő hőkezelési technológiával érhetőek el:

- optimális edzési hőmérséklet,
- mélyhűtés,
- céltudatosan kiválasztott megeresztési hőmérsékletek,
- többszörös megeresztés.

Bebizonyosodott, hogy a mélyhűtés hatására az UNIMAX acélból készült nyomásos öntőszerszámok élettartama jelentősen növelhető, ami a maradék ausztenit mennyisége minimalizálásának köszönhető [4].

Vizsgálataink során azt vizsgáltuk, hogy miként növelhető tovább a szerszám élettartama, illetve hogyan érhetőek el még kedvezőbb tulajdonságok megfelelő felületbevonatolási technológia alkalmazásával [5].

Felületkezeléssel javítható a kopásállóság, a felületi keménység és a korrózióállóság. A bevonatolás célja vékony, nagy keménységű felületi réteg létrehozása, amelynek kicsi a súrlódása, minimális a tapadása, nagy a kopásállósága és a korrózióállósága [6].

Az egyik leggyakrabban használt módszer a PVD-s bevonatolás. Az eljárás során vákuumban a bevonatra szánt anyagot elgőzöltetik, és lerakják a kész szerszám felületére. A bevonat nagyjából 1 mikron vastagságú réteget képez, amely szorosan kötődik a szerszámhoz. Az eljárást általában 600 °C alatt végzik, ami nincs hatással a szerszám alapkeménységére.

Az általunk használt bevonat a bevonatolási területén vezető szerepű Oerlikon Balzers BALINIT. A BALINIT-bevonatok multifunkcionálisak, egyedülálló tulajdonságúak, és növelik a gyártási folyamat hosszú távú költséghatékonyságát és termelékenységét. Nagy felületkeménységgel rendelkeznek, amely védi a szerszámot a kopásoktól és az eróziótól. Kis súrlódási együtthatóval rendelkező keramikusan anyagból áll, amely meggátolja az adhéziós és abrazív kopásokat, az ömledék

feltapadását, és javítja a formáról való leválást [7]. Kiváló hő- és kémiai stabilitást biztosít, melynek eredményeképpen nincs oxidáció, és csökken a szerszám ömledékkel való szennyeződése. Védelmet biztosít továbbá a melegrepedésekkel szemben [8].

Az előbb felsorolt tulajdonságoknak köszönhetően kisebb szerszámköltséget biztosít, növeli az élettartamot, csökkenti a termelési költségeket, az állásidőket, a kieséseket és a karbantartási költségeket [9].

Az általunk választott bevonat a BALINIT bevonatcsalád FORMERA ADVANCED. A bevonat a melegrepedések megoldására, a feltapadáságtól és a korrózióvédelemre összpontosít. Ennek köszönhetően a szerszám nem igényel öntés utáni tisztítást, karbantartást, így csökkenti az állásidőket.

2. Anyagok, eszközök, kezelések

2.1. Anyagválasztás

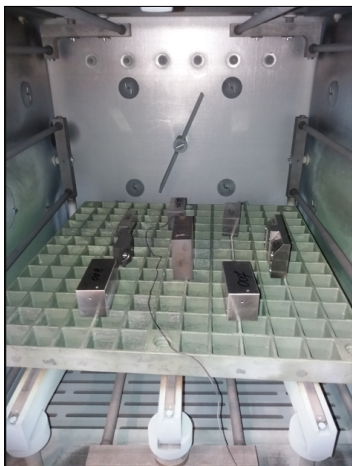
Az általunk vizsgált próbatestek egy melegalító öntőszerszám alapanyagából készült, amely autóiipari alumínium alkatrész gyártására szolgál. A melegalító szerszámok esetében fontos tulajdonság a kopásállóság, a termikus kifáradással szembeni ellenállás, a nagy keménység, de a jó melegszívósság is [10]. Az általunk kiválasztott Uddeholm UNIMAX szerszámacél erre a célra tökéletesen megfelelő prémium minőség. Nagy széntartalma a keménységet növeli, a króm ötvözés komplex karbidok képzéséért felel, a molibdén a karbidképzés mellett a melegszívósságot és a megeresztésállóságot is növeli, a vanádium pedig a finomszemcsésítésért és a jó kopásállóságért felel [11].

2.2. Eszközök, berendezések

2.2.1. A hőkezelő kemence

A hőkezeléseket a Lőrinciben székelő Titán 94 Kft.-ben egy Schmetz típusú elektromos vákuumkemencében végeztük, melyben a szerszámok hevítése vákuumban történik, a hűtést a nitrogén védőgáz teszi lehetővé, a mélyhűtés során pedig a cseppfolyós nitrogént porlasztják el és fecskendezik be, így elérve a –150 °C-ot.

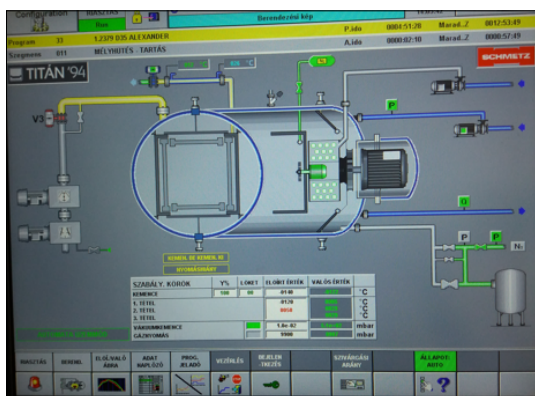
Az 1. ábrán a kemence belső terében láthatóak mindkét oldalon a grafit fűtőrudak, a középső részen a flexibilis termoelem, valamint a kemence hátsó részén elhelyezkedő ventilátor és felette a befecskendező fűvőkák, amelyekre keresztül áramlik be a nitrogén. A 8 db próbatest és a behe-



1. ábra. A kemence belső tere



3. ábra. INNOVA bevonatolóberendezés



2. ábra. A kemencevezérlés képernyője



4. ábra. Servocut 302 vágógép

lyezett Ni-NiCr termoelemek a folyamat szabályozását, valamint ellenőrzését szolgálják.

A kemence felépítését a **2. ábra** szemlélteti. Látható a folyékony nitrogén tartálya, a nitrogén befűtőszellepei zölddel jelölve, valamint a kék szín a kettős falú kemence vízhűtését ábrázolja. Bal oldalon látható a kemencéhez tartozó két vákuumszivattyú.

2.2.2. A felületkezelő kemence

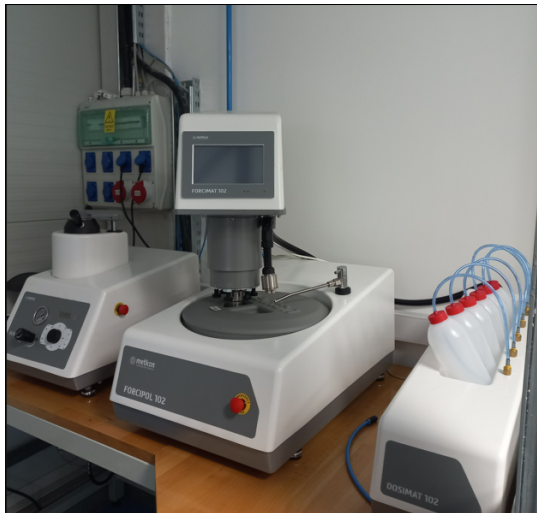
A felületkezelő kemence 700×1200 mm belső terű, INNOVA típusú berendezés (**3. ábra**), amelybe a karuszell elemre függesztett szerszámok helyezhetők be. A felületkezelő eljárás előtt a bevonatolásra szánt szerszámok vegyi, illetve mechanikai tisztításon mennek keresztül. A munkadarab kamrába helyezése után a kamrát 10–6 mbar-ra vákuumozzák [12]. A felületkezelő

si technológia a bevonatforrás elpárologtatásával folytatódik, ami plazmafelhőt idéz elő a kemence terében, amelyhez nitrogéngázt fuvatnak be. A forráskorongokból kicsapódott atomok, illetve ionok a munkadarabhoz adhéziósan kapcsolódnak. Ez a folyamat addig tart, amíg a kívánt bevonatvastagságot eléri.

2.2.3. A mérések előkészítése

A vizsgálatokhoz először is szükség volt próbatetek kivágására, amit a **4. ábrán** látható Servocut 302 abrazív vágógéppel hajtottunk végre.

A próbatetek kivágása után az előkészítés következett, ami meleg beagyazásból, csiszolásból, polírozásból és maratásból állt. A csiszolást és a polírozást egy Forcipol 102 csiszoló-polírozó géppel (**5. ábra**) hajtottuk végre, a maratást pedig 4%-os Nitallal végeztük.



5. ábra. Csiszoló-polírozó gép



6. ábra. Mikrokeménység-mérő

2.2.4. Rétegvastagság-mérés

A mérés célja, hogy meghatározzuk a felhelyezett bevonat vastagságát. A mérés során ultrahangos impulzusokat bocsátunk a felületre, ami a bevonat és a szerszámacél határfelületéről visszaverődik, majd a visszaverődő hullám terjedési sebességéből és az eltelt idő segítségével kiszámítható a rétegvastagság a következő képlettel:

$$D = (v \times t) / 2, \quad (1)$$

ahol

D : a rétegvastagság,

v : a terjedési sebesség,

t : az idő.

2.2.5. Mikrokeménység-mérés

A mikrokeménység-mérést KB 30S KB 30 S video keménységmérő géppel végeztük, amelyet a 6. ábra szemléltet.

2.3. Hőkezelés

2.3.1. Feszültségcsökkentő izzítás

A hőkezelés első fontos lépése a feszültségcsökkentő izzítás, amely során az adott szerszámot lassan hevítettük 650 °C-ig nitrogén védőgázban, majd két órán keresztül ezen a hőmérsékleten tartottuk, végül lassan szobahőmérsékletre hűtöttük.

Erre azért van szükség, mert a szerszámgyártás során belső feszültségek halmozódnak fel a szerszámban, amelyek elősegítik a repedések, esetleges törések kialakulását [13]. Az izzítással pedig redukáljuk ezt a kockázatot, ennek köszönhetően nő a szerszám élettartama is [14].

2.3.2. Edzés

A következő hőkezelés az edzés, amelyet két részre bonthatunk. Az első rész az ausztenítés, amely során az anyagot lépcsős hevítéssel edzési hőmérsékletig hevítjük, és ott hőn tartjuk a homogén ausztenit kialakulásáig. A második rész a nitrogéngázzal való, a kritikus hűlési sebesség-nél gyorsabb hűtés szobahőmérsékletig, melynek célja a martenzites szövetszerkezet létrehozása. A lépcsős hevítés célja a hőkiegyenlítés az anyag felülete és közepe között a fázisátalakulások okozta feszültségek megakadályozásáért. Az UNIMAX edzését 1050 °C-ról végeztük.

2.3.3. Mélyhűtés

A szobahőmérsékletre hűtött szerszámon érdemes további mélyhűtést alkalmazni a szerszám élettartamának további növelésének céljából [14]. Edzés után a próbatesteket tovább hűtöttük folyékony nitrogén porlasztásával -150 °C-ig. A mélyhűtés a szövetszerkezeti homogenitás javulásához vezet, egyben a keménységet és szívósságot is növeli, és jelentősen csökkenti a maradék ausztenit mennyiségét [15].

2.3.4. Megeresztések

A megfelelő szívósság-keménységi arány eléréséhez elengedhetetlen a megeresztés. Melegalakító szerszámacélok esetében nagy hőmérsékletű többszörös megeresztés indokolt a finom szemcseszerkezetű homogén szferoidit létrehozása érdekében [16], valamint a hőkezelés okozta feszültségek csökkentése céljából. A végső kemény-

séget a második megeresztési hőmérséklet beállításával értük el. Esetünkben háromszoros nagy hőmérsékletű megeresztést alkalmaztunk.

2. táblázat. Hőkezelési paraméterek [1]

Folyamat	Hőm. (°C)	Idő (perc)
Feszültségcsökkentés	650	260
Edzés	1050	200
Mélyhűtés	-150	145
Megeresztés 1.	605	240
Megeresztés 2.	615	240
Megeresztés 3.	595	240
Összes idő: 1325 perc		

2.4. Felületkezelés

A BALINIT FORMERA eltér a hagyományos PVD-bevonatolástól. Kísérletünk során ezzel az eljárással először egy plazmanitridálást végeztünk, amelyet a PVD-bevonatolás követett. Ezáltal sikerült létrehozni egy 7 µm vastagságú adhéziós réteget és egy 80 µm vastagságú diffúziós réteget. A nitridálás 480 °C-on történik, és a bevonatolás hőmérséklete sem haladja meg a szerszámmegeresztési hőmérsékletet [17]. A BALINIT FORMERA egy multilayer réteget hoz létre, aminek köszönhetően a repedések terjedése minimálisra csökkenthető. A főbb előnyei közé tartozik, hogy 1000 °C-ig hőálló, csökken az öntvényfelpadadás, és nagy értékben ellenáll a kimosódásoknak is, ezáltal növelve az élettartamot.

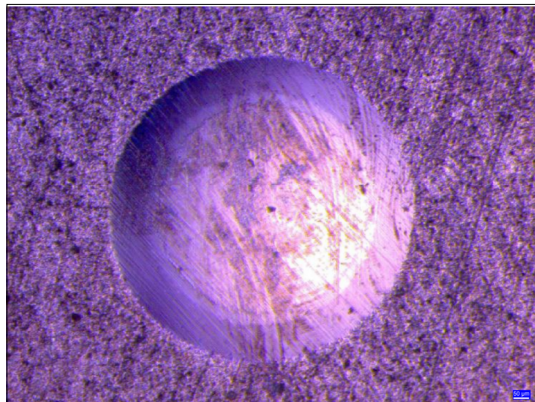
3. Mérési eredmények

3.1. Mikrokeménység-mérés

A mikrokeménység-mérés során ügyelnünk kellett arra, hogy csak minimális terheléssel végezzük el a mérést, hogy a bevonat rétegvastagságát ne haladja meg a szűrőszerszám. 0,5 kg-os terheléssel 2200 HV keménységet sikerült elérnünk. A bevonat nélküli szerszám keménysége 52 HRC, ami körülbelül 550 HV keménységnek felel meg. Ez azt jelenti, hogy a felületkezelés hatására a felületi keménység négyszeresére nőtt az előbbiekhöz képest.

3.2. Rétegvastagság-mérés

A bevonatok rétegvastagságának meghatározását FISCHERSCOPE® X-RAY XDAL® típusú készülékkel végeztük, amely röntgenfluoreszcencia (XRF) elven működik. Ez a módszer lehetővé teszi a rétegvastagság roncsolásmentes mérését a bevonat és az alapanyag elemeinek karakterizá-



7. ábra. Az egyik próbatest képe

tikus fluoreszcens sugárzásának kiértékelésével. A méréseket mindhárom bevonattal ellátott mintán elvégeztük, amely pontos adatokat szolgáltatott az egyes rétegek vastagságáról. A rétegvastagság-mérést a három próbatesten (7. ábra) ismételtük meg, aminek eredményeit átlagoltuk. A mérési eredmények átlagaként a rétegvastagság 6,94 µm.

4. Következtetés

Vizsgálataink során összehasonlítottunk két próbatestet, amelyeken ugyanazon hőkezeléseket hajtottunk végre, viszont az egyiket egy BALINIT FORMERA ADVANCED bevonattal vontuk be. A vizsgálatok során mikrokeménység-méréseket és mikroszkópos szövetszerkezet-vizsgálatokat hajtottunk végre. A vizsgálatok elvégzése után a gyakorlatban is megvalósítottuk a szerszám bevonatolását. A szerszám a megfelelő hőkezelési technológia alkalmazásával összesen 280 000 darab alkatrész elkészítésére alkalmas. A bevonatnak köszönhetően további 80 000 alkatrész elkészítésére képes az új szerszám, így az élettartama összesen 360 000 alkatrész.

3. táblázat. Alkatrészek élettartama

Élettartam bevonat nélkül	Élettartam bevonat alkalmazásával
280 000 db	360 000 db

Köszönetnyilvánítás

Köszönettel tartozunk az Óbudai Egyetem Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Karának a laborhasználatért, a támogatásért és a segítségért. Továbbá köszönettel tartozunk még az Erdélyi Múzeum-Egyesületnek, amiért a XXX. Fiatal Műszakiak Tudományos Ülésszaka keretein belül lehetőséget adott a téma előadására és a cikk elkészítésére.

Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Kertész O., Tóth L.: Öntőszerszámok élettartamának növelése mélyhűtéses hőkezeléssel. *Acta Materialia Transylvanica*, 7/2. (2024) 66–70. <https://doi.org/10.33923/amt-2024-02-02>
- [2] Uddeholm AB: Brochure Uddeholm UNIMAX, 2015.
- [3] Arh B., Podgornik B., Burja J.: *Electroslag Remelting: A Process Overview*. Materials and Technology, 50/6. (2016) 971–979. <https://doi.org/10.17222/mit.2016.108>
- [4] Hawryluk M., Lachowicz M., Zwierzchowski M., Janik M., 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) 1–20. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2023.204963>
- [5] Schwam D., Wallace J. F.: *Improving Tool Life for Aluminium Die Casting Dies*. Die Casting Engineer Reprint, Mar/Apr (1995) 1–4.
- [6] 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*. Applied Sciences, 11. (19):9309. (2021) 1–12. <https://doi.org/10.3390/app11199309>
- [7] Rechverger J., Brunner P., Rubach R.: *High performance cutting tools with solids lubricants PVD coatings*. Surface and Coating Technologies, 62/1–3. (1993) 393–398. [https://doi.org/10.1016/0257-8972\(93\)90273-Q](https://doi.org/10.1016/0257-8972(93)90273-Q)
- [8] OERLIKON BALZERS: BALINIT bevonatok alkalmazása fémek nyomásos öntésekor. 2020.
- [9] Dúl J.: *Nyomásos öntészeti ismeretek* 1. kiadás. Nemzeti Tankönyvkiadó, Miskolc, 2009.
- [10] Szabó R.: *Öntéstechnikai és hőtechnikai paraméterek hatása az alumínium nyomásos öntvény szilárdsági tulajdonságaira*. Doktori értekezés. Miskolci Egyetem Műszaki Anyagtudományi Kar, Miskolc, 2012.
- [11] Azizpour A., Hahn R., Klimashin F. F., Wojcik T., Poursaeidi E., Mayrhofer P. H.: *Deformation and Cracking Mechanism in CrN/TiN Multilayer Coatings*. Coatings, 9(6):363. (2019) 1–17. <https://doi.org/10.3390/coatings9060363>
- [12] Zeghni, A. E.; Hashmi M. S. J.: *The effect of coating and nitriding on the wear behaviour of tool steels*. Journal of Materials Processing Technology, 155–156. (2004) 1918–1922. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2004.04.281>
- [13] Artinger I.: *Szerszámacélok és hőkezelésük*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1978.
- [14] Monah Lal D., Renganarayanan S., Kalanidhi A.: *Cryogenic treatment to augment wear resistance of tool and die steels*. Cryogenics, 41, 3. (2001) 149–155. [https://doi.org/10.1016/S0011-2275\(01\)00065-0](https://doi.org/10.1016/S0011-2275(01)00065-0)
- [15] Podgornik B., Paulin I., Zajec B., Jacobson S., Leskovšek V.: *Deep cryogenic treatment of tool steels*. Journal of Materials Processing Technology, 229. (2016) 398–406. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2015.09.045>
- [16] Tóth L.: *Reduction of retained austenite in tool steels*. Acta Materialia Transylvanica, 5/2. (2022) 52–57. <https://doi.org/10.33894/mtk-2022.16.10>
- [17] Zhanga K., Dengb J., Guoa X., Suna L., Leic S.: *Study on the adhesion and tribological behavior of PVD TiAlN coatings with a multiscale textured substrate surface*. International Journal of Refractory Metals and Hard Materials, 72. (2018) 292–305. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmhm.2018.01.003>