

# KOPÁSÁLLÓ BEVONATOK LÉTREHOZÁSA C45E MINŐSÉGŰ ACÉLON NAGYSEBESSÉGŰ TERMIKUS LÁNG-PORSZÓRÁSSAL ÉS KEVERT HULLÁMHOSSZÚ LÉZERSUGARAS ÚJRAOLVASZTÁSSAL

## PRODUCTION OF WEAR-RESISTANT COATINGS BY HIGH- VELOCITY OXY-FUEL THERMAL SPRAYING AND SUBSEQUENT MIXED WAVELENGTH DIODE LASER RE MELTING ON C45E STEEL

Molnár András<sup>\*</sup>, Balogh András<sup>\*\*</sup>

### ABSTRACT

*Thermal spraying has been used in the industry since the 1940s to renovate worn machine elements to protect against wear and corrosion, but the results were not always satisfactory due to porosity, cavity, microstructures and especially the low bond strength. In this study, NiCrBSi alloy was layered to C45E steel by high-speed oxy-fuel thermal spraying (HVOF) and remelted with a mixed wavelength diode laser (MWDL) heat source. Results of our investigation confirmed that excellent layers can be produced with the low melting interval NiCrBSi alloy and applying a technological variant refined step-by-step by experiments.*

### 1. BEVEZETÉS

A termikus szórással felvitt NiCrBSi bevonatokat az 1940-es években kezdték alkalmazni az elkopott gépalkatrészek gazdaságos felületi javítására. Ezek a bevonatok összetételüktől függően kopásállóak voltak és jól ellenálltak korróziós a közegekben fellépő maró hatásnak, továbbá eredményesen alkalmazhatók voltak olyan helyeken, ahol az üzemi hőmérséklet nem haladja meg a 800°C értéket. Ezeket a bevonatokat széles körben alkalmazzák továbbá az üvegipari formák gyártásánál, a papíriparban a hengerek felújításánál, a vegyiparban különböző szelepek és dugattyú felületének élettartam növelésére [1-4].

A termikus szórással készült bevonatok a szórási technológiától elvárható mikroszerkezettel rendelkeznek, amelyben pórusok, gáz- és oxidzárványok, továbbá meg nem olvadt részecskék egyaránt megtalálhatók. Ezek mennyisége az alkalmazott technológiától függ. A

lángszórás gyengébb bevonatminőségét nagysebességű oxigénes szórással (HVOF) és a plazmaszórással lehet javítani (kevesebb pórus, kisebb mennyiségű meg nem olvadt porszemcse). A szóróanyagok között egyedinek számító NiCrBSi ötvözet összetételének köszönhetően a réteg újraolvasztható és ennek eredményeképpen a réteg jellemzői (homogenitás, kötési jellemzők) és fontos üzemi tulajdonságai (kopás- és korrózióállás) javulnak. A bevonatban lévő króm felelős a korrózióval és az oxidációval szembeni ellenállásért és a hőstabilitásért, a bór és a szilícium csökkenti az olvadási hőmérsékletet és elősegíti az újraolvadási folyamatot, a karbon jelenléte lehetővé teszi a karbidok létrejöttét, amelyek növelik a keménységet és kopásállóságot [5].

Az alkalmazásoknál nem hagyható figyelmen kívül az a terület, ahol korábban a környezetre káros technológiával felvitt keménykróm bevonatokat alkalmazták, pl. repülőgépek leszálló egységeinél [6]. Ahol a kopásállóság mellett a korróziós ellenállás is követelmény, ott a többféle Ni bázisú ötvözet közül egyértelműen a boridos Ni ötvözetek csoportjába tartozó NiCrBSi ötvözetek [7] tekinthetők ideálisnak [8],[9]. A NiCrBSi ötvözetek alacsony olvadási hőköze előnyös az újraolvasztásnál, ahol minimális alapanyaggal való keveredéssel (ún. felhígulással) kiváló kötőszilárdság érhető el. Ezeknek a tulajdonságoknak köszönhetően a NiCrBSi ötvözetek számos célra eredményesen használhatók [10],[11].

A szórt réteg újraolvasztását a leggyakrabban oxigén-acetilén lánggal, kemencében vagy, indukciós módszerrel végzik. A réteg újraolvasztása során a bevonat üregelessége, porozitása, salakossága csökken, szerkezete homogéner lesz és az alapfémmele erős kohéziós kötés alakul ki. A lánggal végzett újraolvasztás hátránya a jelentős hőbevitel miatt bekövetkező munkadarab deformáció és az alaptest korábbi hőkezelési állapotának

<sup>\*</sup> címzetes egyetemi docens, Miskolci Egyetem, Anyagszerkezet-tani és Anyagtechnológiai Intézet

<sup>\*\*</sup> címzetes egyetemi tanár, Miskolci Egyetem, Anyagszerkezet-tani és Anyagtechnológiai Intézet

tönkre tétele. A kemencében végzett újraolvasztás hátránya, hogy a munkadarabot a NiCrBSi bevonat olvadási hőközébe (960...1060°C) kell hevíteni [12]. Ez a hevítési folyamat az alaptestben a hőkezelési állapot teljes keresztmetszetben való megváltozását és a szemcsék durvulását eredményezi. A Ni alapú bevonatok a felületükön kialakuló komplex oxidok miatt (a Co-alapú ötvözetekhez hasonlóan) jó eredménnyel alkalmazhatók a kovácsoló szerszámok felületén is [13].

A lézersugaras újraolvasztással az előbb leírt hátrányok részben elkerülhetők. A lézersugaras hőforrással végzett újraolvasztás során a hőbevitel jól szabályozható és a munkadarab deformációja, illetve szemcsedurvulása megelőzhető. A hagyományos lézerforrásokkal (Nd:YAG; CO<sub>2</sub>) végzett újraolvasztás során a lehűlt rétegben több esetben repedéseket észleltek, különösen olyan esetekben, amikor a rétegekeménység meghaladta a 60 HRC értéket [14]. A repedéseket a hagyományos lézersugár nagy hőmérséklet gradiense okozhatja [15]. A repedések előfordulási valószínűsége a lézersugaras újraolvasztás paramétereinek pontos beállításával, a munkadarab előmelegítésével és a lehűtés szabályozásával csökkenthető [16].

A hagyományos lézersugaras újraolvasztás során az egy lépésben újraolvasztható rétegszélesség 12...24 mm-re tehető. Az egyes sávok átfedésénél a réteg tulajdonságai változhatnak. A jelen munkánkban olyan kevert hullámhosszú dióda lézer (Mixed Wavelength Diode Laser, MWDL) hőforrást alkalmaztunk, amellyel egyszerre akár 100 mm szélességű termikusan szórt sáv újraolvasztása is lehetővé válik. Ebben a tanulmányban a nagysebességű oxigénes (HVOF) termikus szórással felvitt, majd ezt követően kevert hullámhosszú dióda lézer hőforrással újraolvasztott NiCrBSi bevonatok mikroszerkezetének vizsgálatával foglalkozunk.

## 2. A KÍSÉRLETEK KÖRÜLMÉNYEI

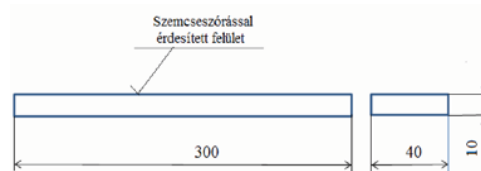
A termikus szórás technológiák régebbi korszakában, a lánggal végzett újra olvasztási kísérleteink során azt tapasztaltuk, hogy a próbatest a jelentős fajlagos hőbevitel miatt túlhevült és eldeformálódott. Kis méretű alaptesteket felhasználva pl. az alkalmazott 80x40x10 mm méretű próbatest a por olvadási hőközének (960...1060°C) közelébe hevült. A nagymértékű vonalenergia a munkadarab teljes keresztmetszetében eldurvította a szemcséket és átkristályosította a kiinduló szövetszerkezetet. A termikus szórással felvitt réteg minősége az egyik legjobban szabályozható hőforrással, a lézersugárral végzett újraolvasztással javítható, de a kísérletek és az ipari alkalmazás tapasztalatai néhány problémát hoztak a felszínre.

A CO<sub>2</sub> lézersugaras újraolvasztás során a sugárnyaláb energiáját nem minden esetben lehet a célnak megfelelően beszabályozni, ezért az erősen ötvözött anyagú

szórt réteg alsó része az ötvözetlen acél alaptesttel felkeveredik, közkeletű szóhasználattal felhígul. Ugyanakkor az újraolvasztott sávok szélessége nem haladja meg az 5 mm-t. Az újraolvasztott sávok átfedett térfogatában az ismételt hőbevitel miatt további előnytelen változásokat tapasztaltunk. Az egyébként kötőhegesztésre kifejlesztett CO<sub>2</sub> lézerhőforrással végzett kísérleteink tapasztalatai alapján felmerült az az igény, hogy olyan tulajdonságú lézerforrást találjunk, ahol nagyobb fókuszfelületen jobban szabályozható, egyenletes hőbevitel érhető el. Így jutottunk el a kevert hullámhosszú dióda lézer hőforráshoz.

### 2.1. A vizsgálati próbatestek geometriai kialakítása és méretei

A kevertlézeres újraolvasztási technológia első kísérleteihez olyan lapos próbatest kialakítást alkalmaztunk, amely lehetővé teszi a felszórt réteg széles sávban történő újraolvasztását (1. ábra).



1. ábra Az újra olvasztáshoz tervezett C45E anyagú alaptest

### 2.2. Az alaptestek és a szóróporok anyaga

Az alaptest anyagának közepes karbontartalmú, ötvözetlen szerkezeti acélt választottunk. Az MSZ EN ISO 683-1:2018 szerinti C45E jelű acél az átlagos igénybevételű gépkatrészek jellegzetes anyaga, amelyet a termikus szórásokkal végzett kísérletekhez korábbi vizsgálatainkban is széles körben alkalmaztunk. Az alaptest anyagának vegyi összetételét és Vickers keménységét az 1. táblázatban foglaltuk össze.

1. táblázat A próbatestek készítéséhez felhasznált alaptest acél jellemzői

Acél jele	Vegyi összetétel (tömegszázalék)			Keménység [HV1]	
	C	Mn	Si	Norma-lizált	Nem hő-kezelt
C45E	0,44	0,56	0,26	200...235	480...515

A melegen hengerelt acélból kivágott téglalap szelvényű próbatestek felületét elektrokorundos szemcseszórással tisztítottuk és érdesítettük. A szórás során arra törekedtünk, hogy az átlagos felületi érdességmélységet az optimálisnak tekintett Ra=2...8 µm nagyságúra állítsuk be, amely a korábbi tapasztalataink szerint a felszórt

réteg tapadása és későbbi újraolvasztása során előnyösnek bizonyult.

A kísérleti darabok szórásához a voestalpine Böhler-Welding UTP Maintenance GmbH (Bad Krozingen, Deutschland) által forgalmazott, Niborit 6-P márkajelű NiCrBSi porötövet választottuk (2. táblázat).

2. táblázat A felhasznált Niborit 6-P jelű por vegyi összetétele és fontosabb jellemzői

Niborit 6-P	Vegyi összetétel tömegszázalékban					
	Cr	Si	B	C	Fe	Ni
	16,9	4,4	3,7	0,9	3,8	Maradék
Részecskeméret, $\mu\text{m}$	20...63					
Sűrűség, $\text{g/cm}^3$	4,33					
Rétegekeménység, HRC	63					

### 2.3. A NiCrBSi ötvözet termikus szórása

A próbadarabok felület előkészítését követő érdességvizsgálat után a próbatetek termikus szórása nagysebességű oxigén (HVOF) porszórással (a 3. táblázatban feltüntetett jellemzők mellett) 1 h-n belül elkezdődött és 2 h-n belül befejezésre került.

3. táblázat Az oxigén-propán láng hőforrással végzett nagysebességű szórás adatai

Technológiai adatok	Beállított értékek
A nagysebességű szórópisztoly típusa	Metco 5P
Propán ( $\text{C}_3\text{H}_8$ ) nyomása, bar	3
Propán térfogatáram, l/min	62
Oxigén nyomása, bar	5,5
Oxigén térfogatáram, l/min	240
A szállított por tömegárama, g/min	60
Szórási távolság, mm	180
Szórási sebesség, m/s	450
A szórópisztoly haladási sebessége, mm/s	10

4. táblázat A No5, No7 és No8 próbatetek újraolvasztási paraméterei

A próbatest sorszáma	A lézersugár teljesítményszintje, W	Szkenelési		Az újraolvasztás megkezdése előtt eltelt idő, s	Előmelegítési hőmérséklet $^{\circ}\text{C}$
		sebesség mm/s	sáv szélesség mm		
No5	5500	2	40	0	20
No7	5500	3	40	0,3	250
No8	5500	2	40	0,3	250

A próbatetek szórását speciális szórókabinban végeztük, a nemkívánatos égéstermékek (füstgázok) folyamatos elszívásával. A próbateteket függőleges helyzetbe állítottuk és a nagysebességű szórófejet egy erre rendszeresített robotkarra erősítettük (2. ábra). A termikus szórást az egyenletes rétegvastagság elérése érdekében a szórófej függőleges irányú fel-le mozgásával végeztük.



2. ábra A Niborit 6-P por felszórása nagysebességű láng-porszórással

### 2.4. A termikus szórással felvitt réteg újraolvasztása

Technológiai előzmények hiányában a felszórta NiCrBSi réteg lézersugaras újraolvasztását a felületi hőkezeléseknél nyert tapasztalatok alapján és a rétegtárgy olvadási hőközéneke figyelembe vételével terveztük meg. Az újraolvasztási műveletet a 4. táblázatban közölt adatok szerint, egy FANUC robotra szerelt lézerfejjel végeztük (3. ábra). A robot és a lézerdióda egység között a kapcsolatot optikai kábellel biztosítottuk.

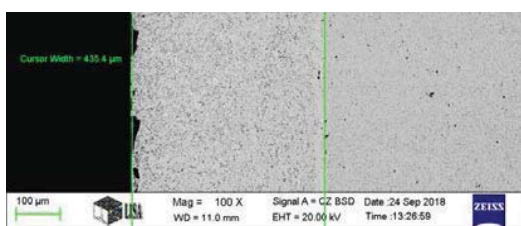
A réteg újraolvasztása egy erre a célra rendszeresített kabinban történt. A szórta felület újraolvasztásának folyamatát egy külső monitoron követtük. A 40x6 mm fókuszfelületű kevert hullámhosszú lézersugár hőenergiája elsősorban a réteget olvasztotta meg. Az alaptest hőmérséklete az újraolvasztás során csak kismértékben emelkedett, ezzel elérhető volt, hogy az eredeti hőkezelési állapot változatlanul maradjon.



3. ábra A szórt réteg újraolvasztása FANUC robotra szerelt MWDL hőforrással

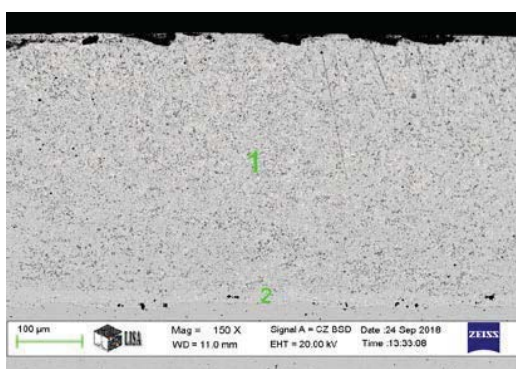
## 2.5. A megolvasztott NiCrBSi bevonatok mikrovizsgálata

A metallográfiai vizsgálatokra előkészített csiszolatokat a Miskolci Egyetem Anyagszerkezettani és Anyagtechnológiai Intézetének Metallográfiai Laboratóriumában vizsgáltuk. Az MWDL hőforrással és kísérleti úton finomított technológiai paraméterekkel újraolvasztott réteg szinte teljesen hibamentesnek bizonyult. Az újraolvasztott réteg vastagsága méréseink szerint átlagosan 400 és 450  $\mu\text{m}$  között változott (4. ábra).



4. ábra Az újraolvasztott réteg vastagság mérése az No5-ös próbatesten (Marószerszer 4 %-os  $\text{HNO}_3$ )

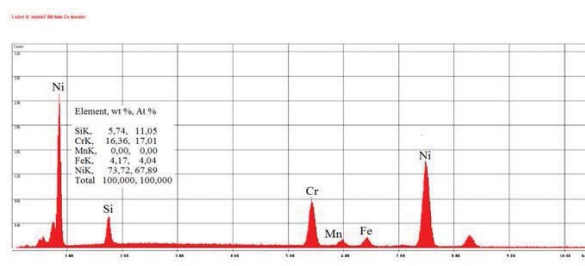
Az No5 jelű vizsgálati darabból származó ábrán az újraolvasztott réteg és alaptest határán egy kb. 10  $\mu\text{m}$  vastag diffúziós sáv látható, amelyet kinagyítva a 5. ábrán mutatunk be. Az újraolvasztott rétegben (1) és a diffúziós zónában (2) egy-egy pontot jelöltünk ki, ahol röntgensugaras mikroanalízis végeztünk.



5. ábra No5-ös minta diffúziós rétege a kémiai analízisre kijelölt helyekkel (Marószerszer 4 %-os  $\text{HNO}_3$ )

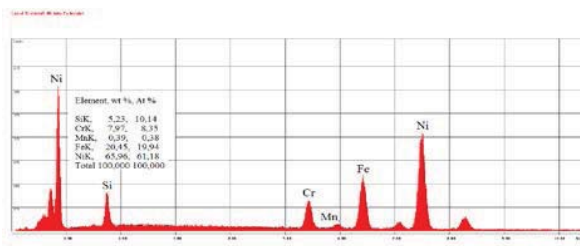
### 2.5.1. Energia diszperz röntgensugaras mikroanalízis (EDXMA)

Az újraolvasztott munkadarabokból kivágott és előkészített csiszolatokon a Miskolci Egyetem Fémtechnológiai, Képlékenyalakítási és Nanotechnológiai Intézet Komplex Képelemző és Szerkezetvizsgáló Laboratóriumában egy MA 10 típusú pásztázó elektronmikroszkóppal vizsgálatokat végeztünk. Az No5 minta újraolvasztott rétegében kijelölt 1 jelű hely kémiai összetétele a 6. ábrán látható. A mintán mért relatíve magas krómtartalom arra enged következtetni, hogy a vizsgált zónában krómkarbid van jelen.



6. ábra Az No5-ös minta 1-es területének jellemző kémiai összetétele

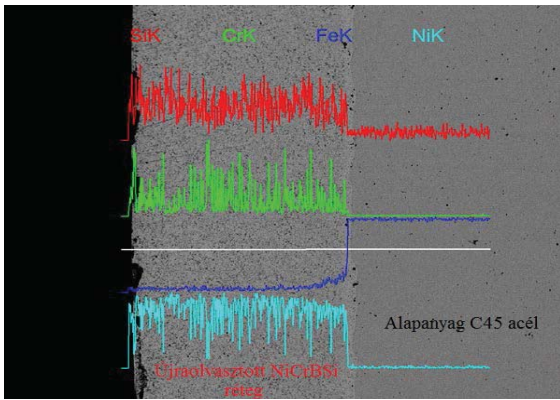
Az No5 minta diffúziós zónájában található 2-es hely összetétele a 7. ábrán látható. A jelentős mennyiségű vas ( $\text{Fe}=20,45\%$ ) jelenléte arra utal, hogy az alaptanyag és a réteg közötti keveredés intenzív volt.



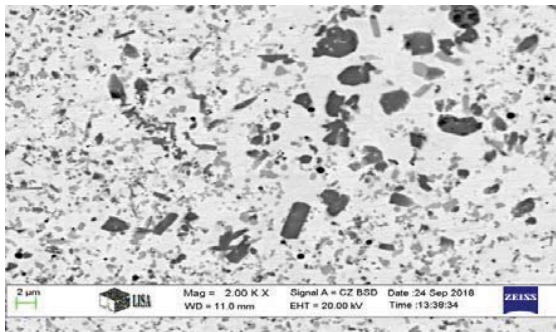
7. ábra Az No5-ös minta diffúziós zónájában található 2-es terület jellemző kémiai összetétele

Az No5 jelű próbatest alaptanyag-réteg átmenete vonalmenti elemzésének eredményét a 8. ábrán mutatjuk be. A vonalmenti ötvöző-koncentrációban látható Cr és Si ingadozás a keményfázisok egyenletes eloszlására enged következtetni. Az alaptest és réteg határán megfigyelt (mintegy 10  $\mu\text{m}$  vastagságú) diffúziós zónában a felkeveredést bizonyító vasban dús zóna található.

Az újraolvasztott réteg maratott csiszolatáról 2000x-es nagyításban készített jellegzetes felvételt a 9. ábrán mutatjuk be. A mikroszkópi képen a világos színű Ni szilárdoldat márixban sötétre színeződött keményfázisok (elsősorban Cr és komplex karbidok, valamint boridok) láthatók.

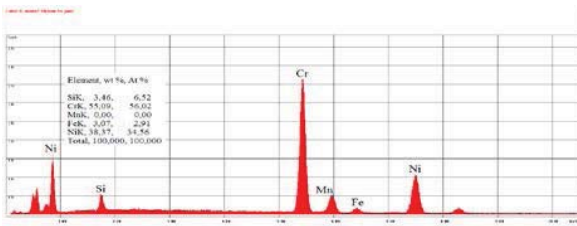


8. ábra Az No5-ös próbatest metszetének vonal menti elemzése (Marószersz 4 %-os  $HNO_3$ ,  $N = 100x$ )



9. ábra A vizsgált próbatest újraolvasztott rétegének nagy nagyítású mikroszkópi képe (Marószersz 4 %  $HNO_3$ , nagyítás 2000x)

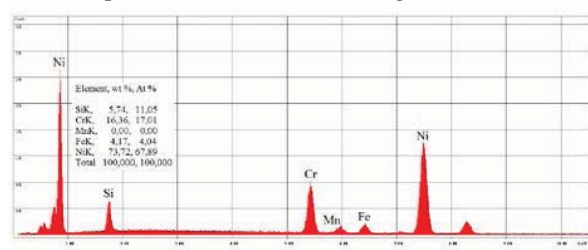
Az újraolvasztott rétegben található keményfázisok fajtája, mérete és eloszlása a rétegekeménység alapvető meghatározója, ezért az azonosításukra egy, a detektor oldali monokromátorral ellátott Philips PW 1830 típusú röntgen-diffraktométerrel (XRD) további vizsgálatokat végeztünk. A 10. ábra az újraolvasztott No7 próbatest NiCrSiB rétege egy jellegzetes pontjában található fázis kémiai összetételét mutatja. Az ábrán figyelmet érdemel a kiemelkedően magas Cr tartalom, amely nagy Cr tartalmú keményfázis (karbid, borid) jelenlétét bizonyítja.



10. ábra A vizsgált No7 jelű próbatest egy vegyületfázisának kémiai összetétele

Az előző ábrától eltérően, a 11 ábrán bemutatott elemzés a nagy Ni tartalmú szilárd oldat mátrixról készült. Az ábrán látható vizsgálati eredmény szerint a Cr tartalom itt az előző ábrán feltüntetett 55,1...56,0 %-kal

szemben csak 16,4...17,0 %, amely nagyjából a Niborit 6-P szórópor Cr tartalmának felel meg.



11. ábra A vizsgált No7 jelű próbatest szilárd oldatának vegyi összetétele

### 2.5.2. Keménységvizsgálat

A keménységvizsgálatokat mind a három jellegzetes mintadarabon elvégeztük. A keménységeket az alaptest érintetlen anyagában, az átmeneti zónában, a hőhatás-övezetben és a rétegben mértük. Az 5 táblázatban összefoglalt rétegekeménységi értékek bizonyítják, hogy a réteg keménysége az újraolvasztás után megfelel a Niborit 6-P szóróportól elvárt 60 HRC értéknek.

5. táblázat Az újraolvasztott rétegben mért keménységek

Újraolvasztott réteg	Mért keménységi értékek, HRC			
	1. mérés	2. mérés	3. mérés	Átlag
No5	61,7	61,9	62,3	62,0
No7	61,4	62,2	62,4	62,0
No8	60,8	61,3	60,7	60,9

## 3. KÖVETKEZTETÉSEK

A boridos nikkelötvözetekkel folytatott vizsgálataink során a 16 % Cr tartalmú porötövegetet a C45E acélból készült alaptestre nagysebességű lángszórással (HVOF) vittük fel. A lánggal és nagy hőáramsűrűségű  $CO_2$  és Nd:YAG lézer hőforrással végzett kedvezőtlen újraolvasztási tapasztalataink birtokában az újraolvasztásra alkalmasabb hőforrást kerestünk. Vizsgálataink eredményeit a következőkben foglaljuk össze.

1. A vizsgálatok azt mutatják, hogy az MWDL hőforrással végzett újraolvasztás lehetővé teszi a finom méretű, dendritesen kristályosodó Ni szilárd oldat fázis, mint mátrix kialakulását.
2. A nagy Ni tartalmú mátrixban finomszemcsézettű, egyenletes eloszlású kemény fázisok (Cr, Ni boridok, valamint Cr és komplex karbidok) jönnek létre, amelyek a Ni alapú szilárd oldat mátrixszal együtt biztosítják a réteg 60 HRC feletti keménységét, kiváló korróziós ellenállását és fokozott megeresztes-állóságát.

3. A bevonat MWDL hőforrás alkalmazásával történő újraolvasztása lehetővé teszi a finomabb szerkezetű, repedésmentes bevonatok kialakítását és minimálisra csökkenti a rétegben maradó üregek, pórusok és nemfémes salakzáródmányok mennyiségét valamint a réteg alapanyaggal való keveredését (felhígulását).

#### 4. IRODALOM

- [1] FERNÁNDEZ, E. CADENAS, M., GONZÁLEZ, R., NAVAS, C., FERNANDÉZ, R., de DAMBORENEA, J. Wear behaviour of laser clad NiCrBSi coating, *Wear*, 2005, Vol. 259, p. 870-875.
- [2] MIGUEL, J. M., GUILÉMANY, J.M., VIZCAINO, S. Tribological study of NiCrBSi coating obtained by different processes, *Tribology International*, 2003, Vol. 36, p. 181-187.
- [3] TUOMINEN, J., VUORISTO, P., MÄNTYLÄ, T., VIHINEN, J., ANDERSSON, P.H. Corrosion behavior of HVOF- sprayed and Nd-YAG laser remelted high-chromium, nickel-chromium coatings, *Journal of Thermal Spray Technology*, 2001, Vol.11, No. 2, p. 233-243.
- [4] SERRES, N., HLAWKA, F., COSTIL, S., LANGLADE, C., MACHI, F., CORNET, A. Dry coatings and ecodesign part.1 – Environmental performances and chemical properties, *Surf. Coat. Technol.*, 2009, Vol. 204, p. 187-196.
- [5] SERRES, N., HLAWKA, F., COSTIL, S., LANGLADE, C., MACHI, F., An investigation of the mechanical properties and wear resistance of NiCrBSi coatings carried out by in situ laser remelting, *Wear*, 2011, Vol. 270, p. 640-649.
- [6] SERRES, N., HLAWKA, F., COSTIL, S., LANGLADE, C., MACHI, F., Corrosion properties of in situ laser remelted NiCrBSi coatings comparison with hard chromium coatings, *J. Materials Processing Technology*, 2011, Vol. 211, p. 133-140.
- [7] BALOGH A., MOLNÁR A. Termikusan szórt NiCrBSi bevonatok minőségjavító utókezelése. *Hegesztéstechnika*, XXXI (2020), 1. szám, pp.27-34.
- [8] KASHANI H, AMADEH A, GHASEMI HM. Room and high temperature wear behaviours of nickel and cobalt base weld overlay coatings on hot forging dies. *Wear* 2007; 262:800–6.
- [9] ABACHI S, AKKÖK M, ILHAN GÖKLER M. Wear analysis of hot forging dies. *Tribol Int*
- [10] BERGANT, Z., TRDAM, U. and GRUM, J. Effect of high-temperature furnace treatment on the microstructure and corrosion behaviour of NiCrBSi flame-sprayed coatings. *Corrosion Science* 88 (2014): 372-386 · August 2014.
- [11] HOUDKOVÁ Š, SMAZLOVÁ E, VOSTRÁK M, SCHUBERT J. Properties of NiCrBSi coating, as sprayed and remelted by different technologies. *Surf. Coating. Technol.* 2014; 253: 14–26.
- [12] CHEN, JL, LI, J, SONG, R, BAI, LL, SHAO, JZ, QU, CC. Effect of the scanning speed on microstructural evolution and wear behaviours of laser cladding NiCrBSi composite coatings. *Optic Laser Technology*, 2015;72:86–99.
- [13] HEMMATI, I., OCELIK, V, DE HOSSON JTM. Compositional modification of Ni-base alloys for laser-deposition technologies. *Laser Surf. Eng. Process. Appl.* 2014:137–62.
- [14] NAVAS, C., COLACO, R., de DAMBORENEA, J., VILAR, R. Abrasive wear behaviour of laser clad and flame sprayed-melted NiCrBSi coatings, *Coat. Surf. Technol.*, 2006, Vol. 200,
- [15] GONZÁLES, R., CADENAS, M., FERNÁNDEZ, R., CORTIZO, J. L., RODRÍGUEZ, E. Wear behaviour of flame sprayed NiCrBSi coating remelted by flame or by laser, *Wear*, 2007. Vol. 262, p. 301-307.
- [16] BERGANT, Z., GRUM, J. Quality improvement of flame sprayed, heat treated, and remelted NiCrBSi coatings, *Journal of Thermal Spray Technology*, 2009, Vol. 18, No. 3, p. 380-390.

