

# TERMÍKUS SZÓRÁSSAL KÉSZÜLT, LÉZER SUGÁRRAL ÚJRAOLVASZTOTT NiCrBSi BEVONATOK VIZSGÁLATA

## ANALYSIS OF THERMAL SPRAYED AND LASER REMELTED NiCrBSi COATINGS

Dr. Molnár András<sup>1</sup>, Dr. Buza Gábor<sup>2</sup>, Dr. Balogh András<sup>3</sup>

### ABSTRACT

*Thermal spraying is already used in industry to protect mechanical parts against wear and corrosion, but results are not always satisfactory due to porosity, microstructures and mainly bond strength. In this study, flame- (FS) and high velocity spraying (HVOF) and in situ flame – and laser irradiation by laser processes were combined to modify structural characteristics of metallic NiCrBSi coatings. The microstructure evolution was studied with the chemical composition analysis by XRD and SEM coupled with EDS techniques. Results show that in situ flame and laser remelting induces the growth of a dendritic structure which strongly decreases the porosity of as-sprayed coatings, without solidification cracking (one of the major defects that can occur during the solidification of metallic alloys and composites) and improves the mechanical properties of the layer.*

### 1. BEVEZETÉS

A termikus szórással felvitt és lézersugárral megolvasztott rétegek alkalmazása egyre nagyobb teret hódít a kopásnak ellenálló bevonatok kialakításában.

A [1] szerint három különböző módszerrel készült, acél alaptestre felszórt NiCrBSi bevonatok mechanikai tulajdonságait és szövetszerkezetét vizsgálták. A vizsgálatokat pásztázó elektronmikroszkóppal (SEM) és energia-diszperzív mikroanalízissel (EDX) végezték. Hasonló fázisokat figyeltek meg mind a három módszerrel készült bevonatnál, viszont eltérő keménységet mértek a szórt és lézersugárral megolvasztott rétegekben. Mindamellet, hogy a megolvasztott rétegek keménysége nagyobb volt a szórhoz képest, a kopásállóságuk is jelentősen megnövekedett. A Ni-alapú bevonatokat főleg növelt hőmérsékleten ható korrózióknak és koptató hatásnak kitett felületi rétegek kialakításánál használják [2, 3, 4, 5].

<sup>1</sup> Ph.D. hallgató, Miskolci Egyetem, Mechanikai Technológiai Tanszék

<sup>2</sup> egyetemi tanár, BAYATI Intézet

<sup>3</sup> egyetemi docens, Miskolci Egyetem, Mechanikai Technológiai Tanszék

A Ni-alapú ötvözetek B és Si tartalma megkönnyíti a szórási és olvasztási folyamatot. A Si és B jelenléte növeli a Ni-alapú ötvözet higflyósságát és olvadási, illetve, kristályosodási hő-közét [6, 7, 8]. A B jelenléte (kb. 3,6 t. %) elősegíti a kemény fázis kialakulását.

A Si tartalom növelése a szórt réteg higflyósságának javítása érdekében nem vezetett eredményre [9]. A Cr-nak fontos szerepe van a NiCrBSi ötvözetek alkalmazásánál, mivel növeli a felvitt szórt és megolvasztott réteg keménységét és javítja annak mechanikai tulajdonságait – továbbá növeli a kopásállóságot [10].

Egyes vizsgálatok bizonyítékot szolgáltatott arra, hogy a rugalmassági modulus (E) is gyakorolhat erős befolyást a bevonat koptató hatásnak való ellenállására. Különböző NiCrBSi ötvözeteket fejlesztettek ki bevonatok készítéséhez, azért hogy a mechanikai tulajdonságokat javítsák, és annak érdekében, hogy a bevonat koptató hatással szembeni viselkedését kellő pontossággal előre meg tudják határozni. Jól ismert, hogy a H / E arány, amellyel az anyag rugalmas deformáció képességét jellemzik (H keménység) [11]. A lánggal végzett kis- és nagysebességű termikus szórást (LV FS és HVOF FS) széles körben alkalmazzák koptató hatásnak ellenálló bevonatok készítéséhez. Ezekre a bevonatokra a nagy porozitás (10...30 %) és az alapfémhez való kötődés (tapadó szilárdság) gyenge minősége a jellemző. A bevonat porozitásának csökkentése és a réteg és az alapfém közötti kötés minőségének javítása érdekében alkalmazzák a szórt réteg utólagos lézersugaras megolvasztását. Az utólagos lézersugaras megolvasztással kombinált bevonattal ellátott alkatrészek és termékek jellemzője a korrózióval és a koptató hatással szembeni ellenállás növekedése és ennek következtében a szembetűnő élettartam növekedés [12, 13, 14, 15].

A bevonatban lévő folytonossági hiányok (porozitás, nem megolvadt részecskék, oxidzárványok) miatt a szórt réteg nem tökéletes. A hibátlan, tömör réteg kialakítása érdekében alkalmazott lézersugaras megolvasztás elősegíti a porozitás teljes elkerülését, így a bevonat teljesen tömör lesz. A réteg szerkezetének finomodása miatt a bevonat mechanikai tulajdonságai jobbakké lesznek és

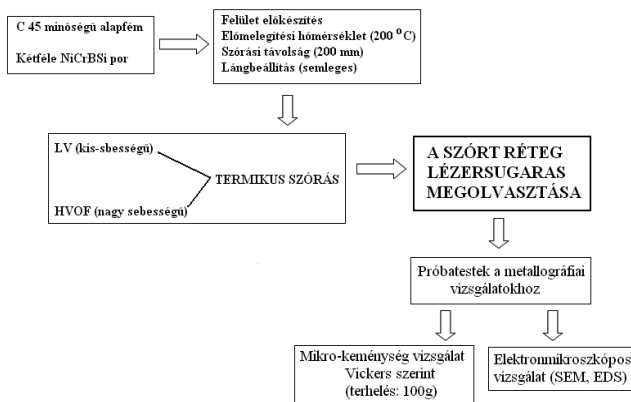
a kopásállósága is a jelentős mértékben javul [16, 17]. A lézersugaras utókezelés – mely koncentrált hő-bevitellel jár együtt – a megszilárduló fémes bevonatban repedéseket okozhat, mely a próbatest, vagy a munkadarab előmelegítésével és szabályozott visszahűtésével elkerülhető [18].

A [19] szerint plazmaszórással készült NiCrBSi anyagú bevonatokat nagyenergiájú dióda lézeres (HPDDL) hőforrás alkalmazásával olvasztották meg. Az utókezelés a réteg tulajdonságainak jelentős javulását eredményezte.

Korábban a plazmaszórással készült NiCrBSi bevonatokat CO<sub>2</sub> lézerral olvasztották meg. A kerámia anyagú, ún. „hő-gát” bevonatok kezelésénél alkalmazott lézersugaras megolvasztás egyenletesebb mikro-szerkezetet és nagyobb tapadó szilárdságot eredményezett, emellett a bevonat porozitása is jelentős mértékben csökkent [20].

## 2. KÍSÉRLETI ELJÁRÁS

Az 1. ábra szerint a próbatesteket előkészítettük (forgácsolás, korund szemcsés szórás), majd 200 °C-ra előmelegítettük és kétféle NiCrBSi ötvözet alkalmazásával két lépcsős eljárást alkalmaztunk – amikor a réteget termikus szórással (FS és HVOF FS) hoztuk létre és lézersugárral újraolvasztottuk.



1. ábra Vizsgálati terv

A LV FS és HVOF FS termikus szóró eljárással végzett kísérletnél a fúvóka és az alapfém távolsága 200 mm volt, az oxigén és acetilén térfogataráma semleges lángot eredményezett.

### 2.1. Felhasznált kiinduló anyagok

Az alapfém Ck 45 minőségű, 50 mm átmérőjű és 200 mm hosszú acél próbatestek voltak (1. táblázat).

A kísérleti darabok elkészítéséhez két NiCrBSi ötvözet került felhasználásra (2. táblázat).

Acél	Összetétel tömegszázalékban			Keménység HV1	
	C	Mn	Si	Norm.	Nem.
Ck 45*	0,45	0,60	0,30	200...235	480...515

\* MSZEN10083/2-91-A1-2000 szerint C 45

1. táblázat. A próbatestek készítéséhez felhasznált acél alaptestek

UB 5-2560*	Összetétel tömegszázalékban					
	Ni	Cr	Si	B	C	Fe
Alapfém	16,5	4,2	3,7	0,5	2,9	
Részecske méret	-125 - +45 µm					
Olvadási hőköz	976...1063 °C					
Réteg-keménység	55...60 HRC					
UB5-2760*	Összetétel tömegszázalékban					
	Ni	Cr	Si	B	C	Fe
Alapfém	15,0	4,4	3,2	0,75	3,5	
Részecske méret	-125 - +45 µm					
Olvadási hőköz	964 - 1003 °C					
Réteg keménysége	60 HRC					

\*Powers of Böhler-UTP GmbH., Bad Krozingen, Deutschland

2. táblázat. A felhasznált NiCrBSi porok összetétele és jellemzői

### 2.2. A próbatestek előkészítése

A próbatestek a forgácsolás után a szokásos szerves oldószerrel zsírtalanításra kerültek. A termikus szórásra kerülő felületéresítéssel való további előkészítése szemcseszórással (0,5 mm szemcse nagyságú korund felhasználásával) történt.

A korund szemcsés szórás érdesíti a felületet – mintegy „aktiválja” azt – így jobb tapadást biztosít a szórt réteg és alapfém között. Az érdesített felületű próbatestek 200 °C-ra való előmelegítése 1 órán belül megtörtént és a felszórási művelet kivitelezése azonnal megkezdődött.

### 2.3. Termikus szórás

A bevonatok felvitelét UNI-SPRAY-Jet és METCO nagy sebességű termikus szóró készülékekkel végeztük. A szórási paramétereket a 3. táblázatban foglaltuk össze.

Beállítási jellemzők	Szórási eljárás	
	LV FS	HVOF FS
Acetilén nyomás, bar	1	2
Acetilén áram, l/min	6	8
Oxigén nyomás, bar	2	4
Oxigén áram, l/min	12	16
Sűrített levegő áram, l/min	-	36
Szórási távolság, mm	160	200
Előtolás, ford/min	5	6
Szórási sebesség, m/s	150	450

3. táblázat A termikus szórási paramétereit

## 2.4. Az olvasztási művelet

A termikus szórási után a bevonat porózus és a lézersugárral való megolvasztás után teljes keresztmetszetében tömörre válik. A szórt réteg megolvasztását a BAYATI-ban egy TRUMPF TLC 105 5 kW teljesítményű CO<sub>2</sub> lézer berendezéssel végeztük. A lézersugaras berendezést folyamatos üzemmódban használtuk argon védőgáz áramoltatása mellett (4. táblázat).

Frekvencia (f) Hz	Impulzus idő (t <sub>p</sub> ) μs	Előtolási sebesség mms <sup>-1</sup>	Folt átmérő (d) mm
1500	20	2	3

4. táblázat A CO<sub>2</sub> lézersugaras berendezés jellemző beállításai

A legkielégítőbb eredményeket a következő beállításoknál kaptuk: teljesítmény-sűrűség a munkadarab felületén: 38 W/mm<sup>2</sup>, letapogatási sebesség 150 mm/min, és a lézersugár átmérője 3 mm. A repedések elkerülése érdekében a próbatesteket kemencében előmelegítettük és a lézeres kezelés után duzzasztott perlitben lehűtöttük, hűtöttük le azokat.

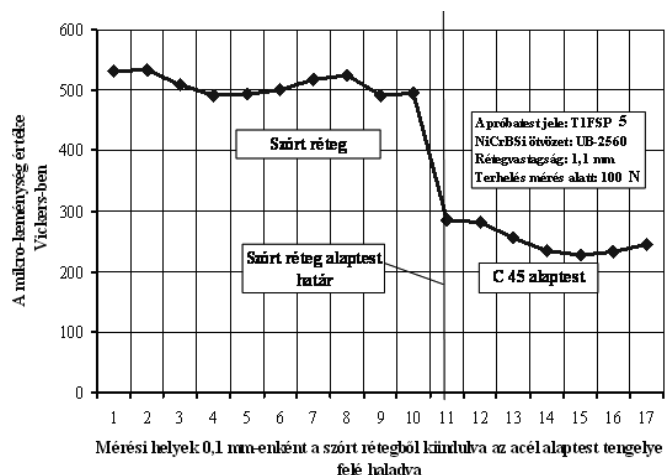
## 3. VIZSGÁLATOK

### 3.1. Mikro keménység vizsgálat

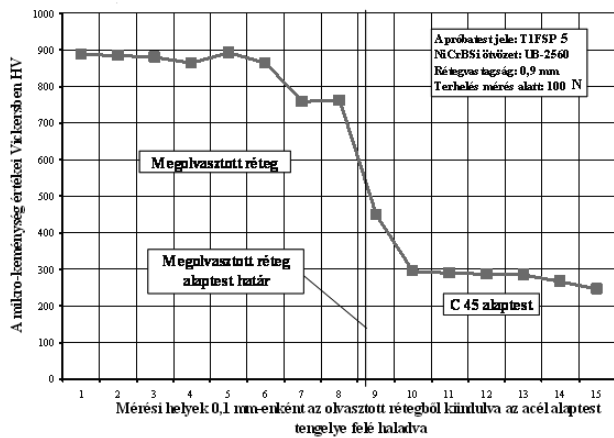
A mikro-keménységvizsgálatokat az ASTM E-384 szabvány szerint végeztük Mitutoyo MVK-H1 típusú készülékkel, Vickers szerint 100 N terhelés mellett. A Vickers mikro-keménységvizsgálati eredményeket az ASTM E 140-07 szabvány szerint át lehet számítani Knoop keménységi értékekre. A szórt és lézersugárral újraolvasztott bevonatokban mért mikro-keménységértékeket az 5. táblázatban foglaltuk össze és a 2, 3, 4. és 5. ábrán szemléltetjük.

Mérési hely (0,1 mm)	Próbatest No. 005		Próbatest No. 007	
	Por UB 5 - 2560		Por UB 5 - 2760	
	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> -O <sub>2</sub> lánggal szórt	Lézer-sugárral olvasztott	HVOF eljárással szórt	Lézer-sugárral olvasztott
	Vickers mikro-keménység (Terhelés 100 N)			
1,0	531		725	
0,9	534		739	
0,8	509	886	721	590
0,7	492	884	715	578
0,6	493	880	705	583
0,5	500	863	695	578
0,4	517	892	690	572
0,3	525	865	697	567
0,2	491	759	693	602
0,1	495	822	689	577
0,0	285	449	284	408
-0,1	282	296	280	289
-0,2	256	289	279	268
-0,3	234	288	253	266
-0,4	227	284	250	255
-0,5	232	267	247	253
-0,6	245	247	254	255

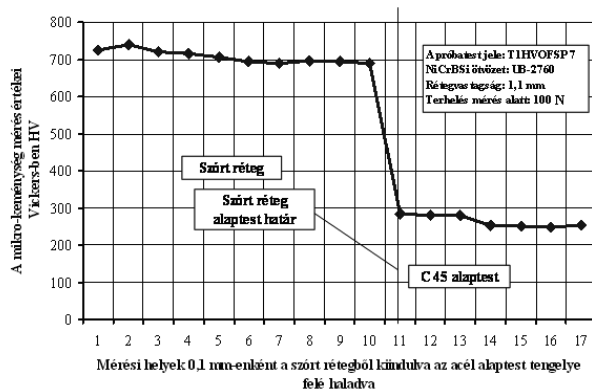
5. táblázat. Vickers mikro-keménységvizsgálati eredmények



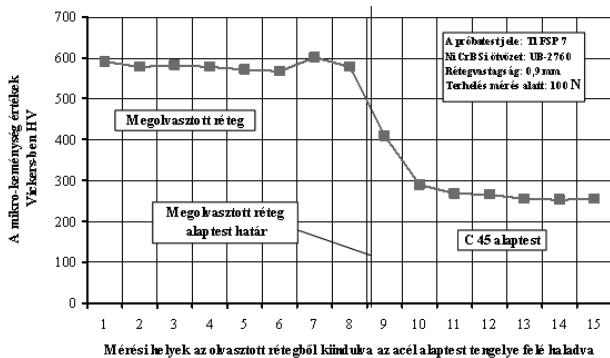
2. ábra. A mikro-keménység-mérés eredményei UB5 2560 jelű NiCrBSi ötvözettel szórt bevonatban, a felülettől az alapfém felé haladva



3. ábra. A mikro-keménység-mérés eredményei UB5 2560 jelű NiCrBSi ötvözettel lézersugárral újraolvasztott bevonatban a felülettől az alapfém felé haladva



4. ábra. A mikro-keménység-mérés eredményei UB5 2760 jelű NiCrBSi ötvözettel szórt bevonatban a felülettől az alapfém felé haladva



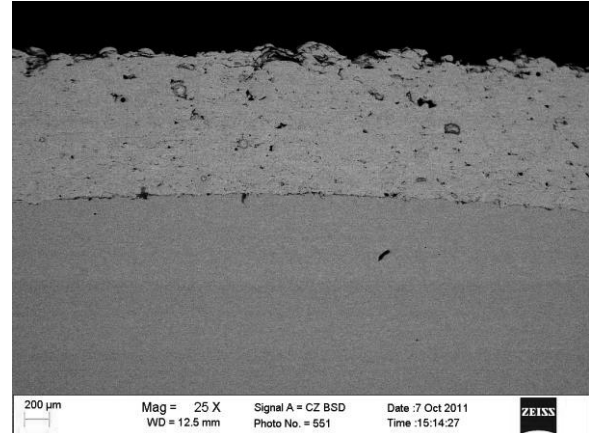
5. ábra. A mikro-keménység-mérés eredményei UB5 2760 jelű NiCrBSi ötvözettel, lézersugárral újraolvasztott bevonatban a felülettől az alapfém felé haladva

### 3.2. A bevonatok mikro-szerkezete

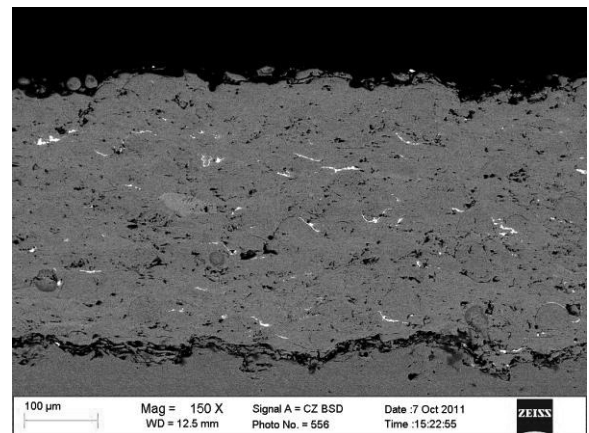
A 6. ábrán egy LV láng-szórt NiCrBSi bevonat (por UB - 2560) mikro-szerkezete látható. A réteg

vastagsága körülbelül 1,1 mm. Megfigyelhető a réteg jelentős porozitása (kb. 10 térfogat %) és a szórt rétegekre jellemző egyenetlen réteges szerkezet.

A 7. ábrán egy HVOF láng-szórt NiCrBSi bevonat (por UB - 2760) mikro-szerkezete látható. A réteg vastagsága körülbelül 1,1 mm. Megfigyelhető a réteg jóval kisebb porozitása (kb. 5 térfogat %). A nagysebességű (HVOF) lángszórással készült bevonatok egyenetlenebb és finomabb szerkezetűek és a szórt rétegekre jellemző egyenetlen réteges szerkezet.

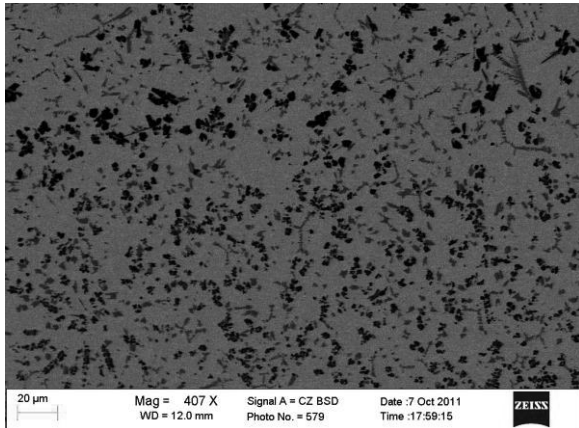


6. ábra LV lánggal szórt NiCrBSi bevonat (N = 25x)

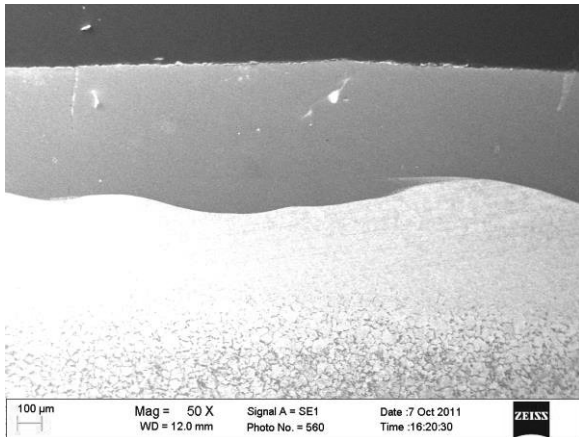


7. ábra. HVOF lánggal szórt NiCrBSi bevonat (N = 25x)

A 8. és 9. ábra lézersugárral újraolvasztott NiCrBSi bevonatok szerkezetét mutatja be. A világos rész egy dendrites szerkezetű Ni szilárd oldat; a sötétebb egyenetlenül eloszló, nagy Cr-tartalmú eutektikus keményfázis. Az EDS elemzésnél szembevető a rétegek magas Cr tartalma, amely a kemény fázisok - krómkarbidok és boridok (főleg Cr<sub>7</sub>C<sub>3</sub> és CrB) - jelenlétére utal. Ez a vizsgálat megerősíti a [21-24] irodalmi hivatkozásban közölt eredményeket.



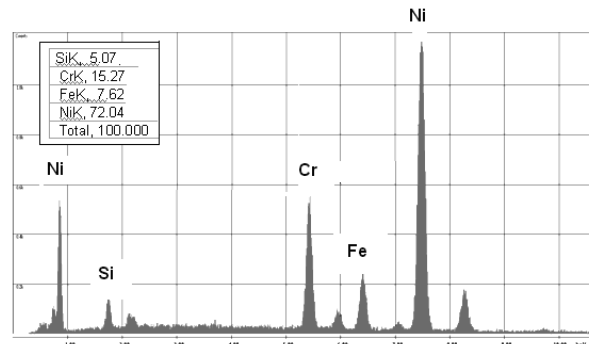
8. ábra LV FS lángszórással készült és lézersugárral megolvastott NiCrBSi bevonat mikro-szerkezete ( $N = 407x$ )



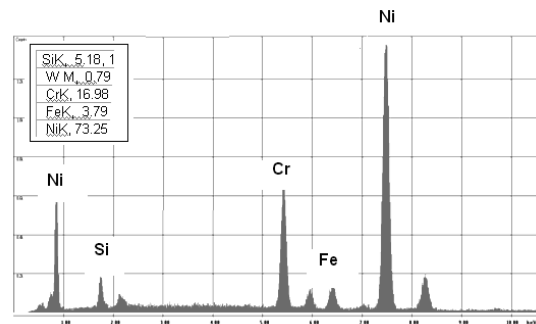
9. ábra. HVOF FS lángszórással készült és lézersugárral megolvastott NiCrBSi bevonat mikro-szerkezete ( $N = 50x$ )

### 3.3. SEM - EDS elemzés

Az UB5 - 2560 UB5 - 2760 márkajelzésű NiCrBSi porokkal felszórta és lézersugárral újraolvastott mintákat SEM elektronmikroszkóppal EDS módszerrel vizsgáltuk. Az EDS elemzés FS-szórta és újraolvastott mintákban hasonló a vegyi összetétel. A 10...11. ábrán a lézersugárral újraolvastott rétegek kémiai összetételének alakulását mutatjuk be a réteg teljes metszetében. Az EDS elemzésnél szembevetendő a rétegek magas Cr tartalma, amely a kemény fázisok jelenlétére utal.



10. ábra Az UB-2560 LV FS + lézersugárral újraolvastott bevonat EDS elemzése



11. ábra Az UB-2760 HVOF FS + lézersugárral újraolvastott bevonat EDS elemzése

## 4. KÖVETKEZTETÉSEK

Ebben a munkában két különböző eljárással termikusan szórta és lézersugárral újraolvastott NiCrBSi (UB5 - 2560, UB5 - 2760) LV és HVOF lánggal szórta, majd utólagosan lézersugárral kezelt (LV FS + lézer és HVOF FS + lézer) bevonat került összehasonlításra.

- A lézersugárral újraolvastott bevonatban egy finom, egyenletes eloszlású kemény fázis figyelhető meg.
- A nem-homogén eloszlású kiválások csökkentik a keménységi értékeket a FS + lézer bevonatokban.
- Mindkét vizsgált bevonatra jellemző a dendrites szerkezetű, Ni szilárd oldatú mátrix.
- A vizsgálatok azt mutatják, hogy a lézersugaras újraolvastás elősegíti a dendrites mikro-szerkezet kialakulását és jelentős mértékben csökken a bevonat porozitása.
- A két lépcsős eljárás lehetővé teszi a tömörebb, és finomabb szerkezetű és repedésmentes bevonatok kialakítását. A bevonat kötése az alapfémhez hegesztett jellegű.

## 5. IRODALOM

- [1] Gómez-del Río T., Garrido M. A., Fernández J. E., Cadenas M., Rodríguez J. 2008. Influence of the deposition techniques on the mechanical properties and microstructure of NiCrBSi coatings. *Journal of materials processing technology* 204 304–312
- [2] Cordia, M., Delogu, P., Nenci, F., 1987. Microstructural aspects of wear-resistant stellite and colmonoy coatings by laser processing. *Wear* 119 (2), 137–152.
- [3] Ming, Q., Lim, L.C., Chen, Z.D., 1998. Laser cladding of nickel-based hardfacing alloys. *Surf. Coat. Technol.* 106, 174–182.
- [4] Li, Q., Zhang, D., Lei, T., Chen, C., Chen, W., 2001. Comparison of laser-clad and furnace-melted Ni-based alloy microstructures. *Surf. Coat. Technol.* 137, 122–135.
- [5] Kim, H.J., Hwang, S.Y., Lee, C.H., Juvanon, P., 2003. Assessment of wear performance of flame sprayed and fused Ni-based coatings. *Surf. Coat. Technol.* 172, 262–269.
- [6] Xin, H., Hu, C., Baker, T.N., 2000. Microstructural assessment of laser nitrided Ti–6Al–4V alloy. *J. Mater. Sci.* 35 (13), 3373–3382.
- [7] Miguel, J.M., Guilemany, J.M., Vizcaino, S., 2003. Tribological study of NiCrBSi coating obtained by different processes. *Tribol. Int.* 36, 181–187.
- [8] Serres N. Hlawka F., S. Costil Langlade C. Machi F. Microstructures and environmental Assessment of metallic NiCrBSi coatings manufactured vya hybrid plasma spray process. *Surface and Coatings Technology* 205 (3010) 1039 – 1046.
- [9] Otsubo, F., Era, H., Kishitake, K., 2000. Structure and phases in nickel-base self-fluxing alloy coating containing high chromium and boron. *J. Therm. Spray Technol.* 9, 107–113.
- [10] Navas, C., Colaco, R., de Damborenea, J., Vilar, R., 2006. Abrasive wear behaviour of laser clad and flame sprayed-melted NiCrBSi coatings. *Surf. Coat. Technol.* 200, 6854–6862.
- [11] Leyland, A., Matthews, A., 2000. On the significance of the H/E ratio in wear control: a nanocomposite coating approach to optimised tribological behaviour. *Wear* 246, 1–11.
- [12] Molian, P.A., Rajasekbara, H.S., 1987. Laser melt injection of BN powders on tool steels. Part I. Microhardness and structure. *Wear* 114 (1), 19–27.
- [13] Atamert, S., Bhadeshia, H., 1989. Comparison of microstructures and abrasive wear properties of stellite hardfacing alloys deposited by arc welding and laser cladding. *Metall. Trans. A* 20, 1037.
- [14] Monson, P., Steen, W.M., 1990. Comparison of laser hardfacing with conventional processes. *Surf. Eng.* 6 (3), 185–193.
- [15] Oberlander, B.C., Lugscheider, E., 1992. Comparison of properties of coatings produced by laser cladding and conventional methods. *Mater. Sci. Technol.* 8, 657–665.
- [16] L. Pawlowski, *Thick Laser Coatings: A Review*, *J. Therm. Spray Technol.*, 1999, 8(2), p 279-295
- [17] J. Mateos, J.M. Cuetos, R. Vijande, and E. Fernandez, *Tribological Properties of Plasma Sprayed and Laser Remelted 75/25 Cr3C2/NiCr Coatings*, *Tribol. Int.*, 2001, 34(5), p 345-351
- [18] A. Lanin and I. Fedik, *Thermal Stress Resistance of Materials*, Springer, 2008
- [19] S. Sasaki, *Tribological Properties of Coating Films Synthesised by Laser Assisted Plasma Spraying*, *Surf. Eng.*, 1997, 13(3), p 238-242
- [20] G. Antou, G. Montavon, F. Hlawka, A. Cornet, and C. Coddet, *Microstructures of Partially Stabilized Zirconia Manufactured via Hybrid Plasma Spray Process*, *Ceram. Int.*, 2005, 31(4), p 611-619
- [21] Z. Z. Bergant and J. Grum: *Quality Improvement of Flame Sprayed, Heat treated and rRemelted NiCrBSi Coatings*, *Journal of Thermal Spray Technology* (2009) Volume 18. September Pages 380-391.
- [22] UTP Welding Consumables, *Bad Krozingen* August, 2006. p. 393-394.
- [23] Z. Y Taha-all, M. S. Hashmi, and B. S. Yilbas: *Laser treatment of HVOF coating: model study and characterization*, *Journal of Mechanical Science and Technology* (2007) 21 1439-1444
- [24] R. Gonzalez, M. Cadenas \*, R. Fernandez, J. L. Cortizo, E. Rodriguez: *Wear behaviour of flame sprayed NiCrBSi coating remelted by flame or by laser*, *Wear* 262 (2007) 301–307

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A szerzők megköszönik a Böhler - UTP Magyarország Kft. műszaki támogatását.

A cikkben ismertetett kutatómunka a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 jelű projekt részeként – az Új Magyarország Fejlesztési Terv keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.