

ISTRAŽIVANJE OTPORNOSTI PLINSKI NAŠTRCANIH NiCrBSi SLOJEVA NA EROZIJSKO TROŠENJE

Katica Šimunović, Krešimir Grilec, Vinko Ivušić

Preliminary notes

U radu je istraživana primjenjivost NiCrBSi slojeva, u uvjetima erozijskog trošenja suhim česticama kvarcnog pijeska, pod kutom udara od 90°. Uspoređivana je erozijska otpornost tri vrste NiCrBSi slojeva dobivenih postupkom plinskog naštrcavanja s utaljivanjem (NiCrBSi, kompozitni sloj NiCrBSi+WC i NiCrWBSi), s materijalima podloge (čelici C45, 42CrMo4 i X6CrNiMo18-10-2). Pri kutu udara abrazivnih čestica od 90°, tvrdi krhki slojevi imaju lošiju otpornost, dok žilaviji, duktilni materijali podloga (osobito izraženo za najžilaviji materijal podloge, čelik X6CrNiMo18-10-2), pokazuju ili bolju ili istu erozijsku otpornost. Osnovni mehanizam trošenja je bio umor površine. Ovakve tvrde vrste slojeva imalo bi smisla primijeniti za zaštitu čeličnih materijala od erozijskog trošenja, ali pri malim kutovima udara abrazivnih čestica.

Cljučne riječi: erozijsko trošenje, plinski naštrcani NiCrBSi slojevi

An Investigation of the Erosive Wear Resistance of Flame Sprayed and Fused NiCrBSi Coatings

Prethodno priopćenje

In this paper, applicability of NiCrBSi coatings in quartz sand particle erosion environment at impact angle of 90°, has been investigated. Erosion resistance of three types of flame sprayed and fused NiCrBSi coatings (NiCrBSi coating, NiCrBSi+WC composite coating and NiCrWBSi coating) and erosion resistance of three types of steel substrates (steels C45, 42CrMo4 and X6CrNiMo18-10-2), have been compared. The investigation showed that tougher and ductile steel specimens (especially the toughest substrate material X6CrNiMo18-10-2), have better (or same) erosion resistance than those covered with hard and brittle NiCrBSi coatings. The main wear mechanism was the surface fatigue crack mechanism. These hard coatings can be used as the protection of steel materials from erosive wear, but at smaller impact angles of abrasive particles.

Keywords: erosive wear resistance, flame sprayed and fused NiCrBSi coatings

1

Uvod

Introduction

Produljenjem vijeka trajanja elemenata tribomehaničkih sustava smanjuju se izravni i neizravni gubici održavanja. Jedna od značajnih triboloških mjera za produljenje vijeka trajanja je primjena postupaka toplinskog naštrcavanja za obnavljanje dijelova i komponenti tribomehaničkih sustava, ali i za zaštitu novih dijelova od trošenja i korozije.

Toplinsko naštrcavanje je toplinsko-mehanički postupak prevlačenja, a postupci prevlačenja uz postupke modificiranja, čine postupke oplemenjivanja površina (inženjerstva površina) [1]. Jedan od postupaka toplinskog naštrcavanja je plinsko naštrcavanje.

Postupkom plinskog naštrcavanja mogu se nanijeti polimerni, metalni, keramički i kompozitni slojevi, a noviji je postupak kada slojevi nastaju naštrcavanjem tekućine. Razlikuju se tzv. hladni i topli postupak plinskog naštrcavanja. Kod hladnog postupka plinskog naštrcavanja, temperature na površini dodira podloge i sloja su niske (do 200 °C), te je mehanička veza najčešći oblik prijanjanja sloja na podlogu.

Kod toplog postupka plinskog naštrcavanja između sloja i podloge stvara se metalurška veza. Topli postupak plinskog naštrcavanja je postupak koji se može provesti u jednom koraku, uz istovremeno naštrcavanje i spajanje (taljenje) praha (temperature su približno 1000 °C, ovisno o leguri) ili u dva koraka kada su faza naštrcavanja i faza utaljivanja razdvojene.

Naštrcani prah se naknadno zagrijava plamenikom, u peći ili indukcijski.

Slojevi dobiveni postupcima naštrcavanja moraju imati dobra svojstva otpornosti na trošenje i koroziju, dobru prionjivost sloja na podlogu, a težnja je i ka smanjenju razine zaostalih naprezanja, poroznosti i oksidnih uključaka. Otpornost na trošenje sustava podloga/sloj ovisit će uglavnom o svojstvima sloja sve dok sloj u potpunosti prekriva cijelu površinu podloge.

Uz dobru prionjivost sloja na podlogu i otpornost prema pukotinama i raslojavanju, sloj mora biti ekstremno otporan na trošenje kako bi se značajno poboljšala tribološka svojstva sustava podloga/sloj. Često, prerano oštećenje sloja skraćuje vijek trajanja komponente koja je dobro funkcionirala i to nakon perioda postupnog trošenja.

Otpornost na eroziju česticama (tj. trošenje zbog mehaničkog udara čestica u plinu ili tekućini) zahtijeva sloj visoke tvrdoće, lomne žilavosti i otpornosti na koroziju. Žilavost je najčešće odlučujuće svojstvo. Ako je erozija uzrokovana udarom abrazivnih čestica pod velikim kutom, tada je to udarna erozija, a ako je strujanje abrazivnih čestica pod malim kutom, tada je to abrazivna erozija [2, 3, 4].

Istraživanje abrazivnog i erozijskog trošenja slojeva dobivenih postupcima naštrcavanja uglavnom se provodilo na uzorcima na kojima su mijenjani parametri postupka naštrcavanja (vrsta polaznog materijala sloja [5-9], način utaljivanja [10], omjer gorivi plin/kisik [7, 11, 12], oblik i veličina čestica praha [5, 6], prah sa ili bez tvrdih faza [13-20]), i to najčešće na čeličnim

podlogama [5, 6, 13, 15, 17, 21-29], eventualno toplinski obrađenim [14]. Mijenjani su i vrsta ispitivanja [8, 30-32] i parametri ispitivanja (opterećenje [17, 33], temperatura [13, 15, 26, 27], vrsta abraziva [10, 31, 33, 34]), u skladu sa stvarnim uvjetima eksploatacije. Sva istraživanja su dopunjena pratećim ispitivanjima (mikrostruktura, mjerenje tvrdoće, mikrotvrdoća, korozivna ispitivanja, [11, 35]). Mikrostruktura i sastav faza u slojevima najčešće su se određivali pomoću rendgenske difrakcije i scanning ili transmisijskog elektronskog mikroskopa [5, 6, 16, 21, 26-29, 34-37].

Opći je zaključak da je većina autora došla do spoznaje da na otpornost na trošenje utječu karakteristike sloja kao što su mikrostruktura, poroznost i tvrdoća. Osobit utjecaj na trošenje imaju čestice tvrdih faza raspoređene u žilavoj matrici. Optimalna svojstva sloja se mogu postići pravilnim izborom parametara naštrecavanja kao što su omjer gorivi plin/kisik, udaljenost naštrecavanja i brzina isporuke praha.

2 Laboratorijska istraživanja Laboratory investigations

Kako su predmet istraživanja, legure (slojevi) sa svojstvom samotečenja na osnovi nikla, cilj je istražiti utjecaj različite mikrostrukture na otpornost na erozijsko trošenje, te usporediti trošenje slojeva i trošenje podloga na koje su slojevi nanoseni.

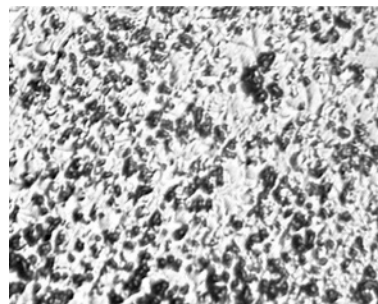
Slojevi istraživani u ovome radu, nanoseni su toplim postupkom naštrecavanja s istovremenim utaljivanjem (slika 1).



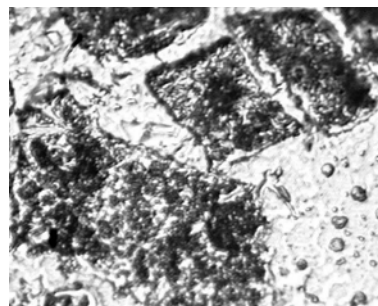
Slika 1. Postupak plinskog naštrecavanja i utaljivanja
Figure 1. Flame spraying and fusing

Na podloge su naštrecane tri vrste slojeva – legure NiCrBSi, NiCrBSi+WC i NiCrWBSi (slika 2). To su tvrde legure sa svojstvom samotečenja na osnovi nikla. Legura NiCrBSi+WC se ubraja u kompozite, jer su čestice WC mehanički pomiješane s NiCrBSi prahom. U leguri NiCrWBSi pojavljuju se također tvrdi WC, ali kao fine faze jednoliko dispergirane u NiCrBSi čestici praha [11, 12]. Tvrde faze u ovoj leguri precipitiraju

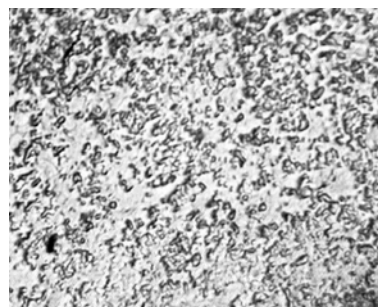
za vrijeme proizvodnje praha, te su sastavni dijelovi praha i ne dodaju se naknadno kao kod konvencionalnih kompozitnih prahova. Legure sa svojstvom samotečenja, zbog sadržaja bora i silicija imaju svojstvo samotečenja, odnosno dobru viskoznost. Ubrajaju se i u toplinski otporne super legure.



a) sloj NiCrBSi
a) NiCrBSi coating



b) sloj NiCrBSi+WC
b) NiCrBSi+WC coating



c) sloj NiCrWBSi
c) NiCrWBSi coating

Slika 2. Mikrostrukture slojeva, povećanje 450x
Figure 2. Coating microstructure, 450x magnified

Ove legure predstavljaju složeni sustav Ni-Cr-B-Si-Fe-C čije karakteristike ovise o sadržaju i omjeru elemenata, kao i o tehnološkim parametrima taljenja i naštrecavanja. Imaju visoku otpornost na trošenje zbog prisutnosti karbida, borida i silicida, relativno visoku temperaturu taljenja, dobro svojstvo tečenja i odvajanja troske za vrijeme taljenja, korozivski su otporne u agresivnim sredinama, a dobro im je i svojstvo toplinske otpornosti.

Visoku otpornost na trošenje, ali i koroziju, ove legure postižu zahvaljujući prisutnosti tvrdih faza

(karbida – Cr_{23}C_6 , $(\text{NiFe})_{23}\text{C}_6$, Cr_7C_3 , W_2C , borida – Ni_2B , Ni_3B , Cr_2B i silicida Ni_3Si_2) koje precipitiraju kao primarni/sekundarni karbidi ili kao binarni/ternarni eutektici [38]. Prisutnost kroma utječe na dobru korozivnu otpornost. Ugljik, bor i silicij utječu na stvaranje tvrdih faza koje se homogeno raspoređuju u žilavoj nikal matrici. Povišenjem sadržaja bora i silicija snižava se solidus temperatura, a time se proširuje područje taljenja. Bor i silicij djeluju i kao dezoksidatori, stvaranjem borosilikata $\text{B}_2\text{O}_x\text{SiO}_y$ i štiteći ostale elemente od oksidacije [13]. Istraživanja su pokazala da prisutnost

željeza značajno utječe na sposobnost kvašenja podloge za vrijeme hlađenja s temperature taljenja, te da se oblikuje gusta kohezijska zona. Međutim, zbog visoke kinematske viskoznosti tekućeg željeza u odnosu na nikal, sadržaj od 5% Fe smanjuje tečenje sloja, a time i gustoću.

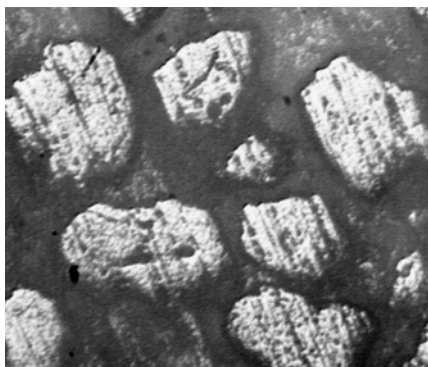
Ispitivanje otpornosti na erozijsko trošenje suhim česticama [4] provedena su prema planu ispitivanja prikazanom u tablici 1, u Laboratoriju za tribologiju Fakulteta strojarstva i brodogradnje u Zagrebu.

Tablica 1. Plan ispitivanja otpornosti na erozijsko trošenje suhim česticama
Table 1. Plan of erosive wear laboratory testing in sand particle environment

Materijal	Oznaka uzorka	Parametri ispitivanja
Sloj NiCrBSi (mikrotvrdoća 900 HV0,1) [39]	E1.1	Abraziv: kvarcni pijesak karakteristika prikazanih u tablici 2 i na slici 3 Brzina vrtnje osovine uređaja (shematski prikazanog na slici 4): 1440 okr/min Vrijeme trajanja ispitivanja: 5 min 10 min Kut udara uzorka u mlaz abraziva: 90° Dimenzije uzorka (prikazanog na slici 5): 18×18×18 mm
	E1.2	
	E1.3	
Kompozitni sloj NiCrBSi+WC (mikrotvrdoća matrice 820 HV0,1; mikrotvrdoća WC 2200 HV0,1)	E2.1	
	E2.2	
	E2.3	
Sloj NiCrWBSi (mikrotvrdoća 1100 HV0,1)	E3.1	
	E3.2	
	E3.3	
Čelik C45 (tvrdoća 176 HV30)	E.P1.1	
	E.P1.2	
Čelik C45 poboljšan (320 HV30)	E.P1T.1	
	E.P1T.2	
Čelik 42CrMo4 (tvrdoća 241,3 HV30)	E.P2.1	
	E.P2.2	
Čelik 42CrMo4 poboljšan (tvrdoća 400 HV30)	E.P2T.1	
	E.P2T.2	
Čelik X6CrNiMo18-10-2 (tvrdoća 202 HV30)	E.P3.1	
	E.P3.2	

Tablica 2. Tehnički podaci za pijesak KH-21.2
(proizvođač Kvarc-Asvany, Mađarska)
Table 2. Technical data for quartz sand KH-21.2
(produced by Kvarc-Asvany, Hungary)

Kemijski sastav	
SiO ₂ , %	98
CaO, %	0,2
Ostali oksidi, %	1,4
Gubitak kod žarenja, %	0,4
Fizikalna svojstva	
Vatrootpornost do, °C	1450
Srednji promjer D, mm	0,21
Stupanj jednolikosti E	62,5
Stupanj finoće AFS	63,9



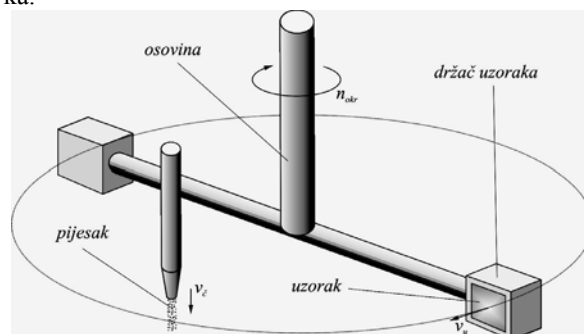
Slika 3. Oblik zrna pijeska, povećanje 120x
Figure 3. Sand particle shape, 120x magnified

2.1 Uređaj za ispitivanje otpornosti na erozijsko trošenje

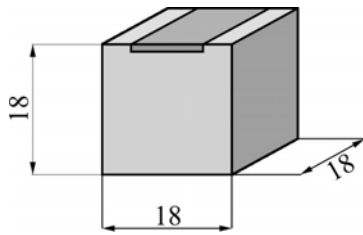
Erosion resistance testing equipment

Ispitivanja otpornosti na erozijsko trošenje provedena su na uređaju koji je shematski prikazan na slici 4.

Uzorci oblika prikazanog na slici 5 koji se nalaze na osovini koja rotira (detalj prikazan na slici 6), na svom putu udaraju u abraziv (karakteristike abraziva-kvarcnog pijeska prikazane su u tablici 2 i na slici 3). Uslijed tih udara dolazi do erozijskog trošenja uzorka.



Slika 4. Shematski prikaz detalja uređaja za ispitivanje erozijskog trošenja
Figure 4. Scheme of erosion resistance testing equipment part



Slika 5. Oblik uzorka za ispitivanje
Figure 5. Testing specimen form



Slika 6. Glavni dio uređaja za ispitivanje otpornosti na erozijsko trošenje

Figure 6. The main part of erosion resistance testing equipment

2.2

Rezultati ispitivanja i analiza rezultata

Testing results and analysis

Vaganjem uzorka prije i poslije ispitivanja, određuje se gubitak mase koji iznosi

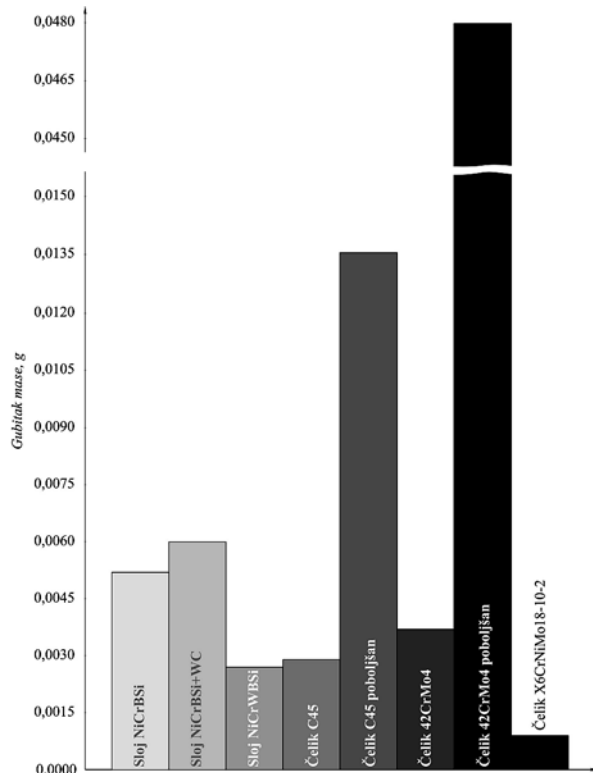
$$\Delta m = m_1 - m_2 \tag{1}$$

gdje je:

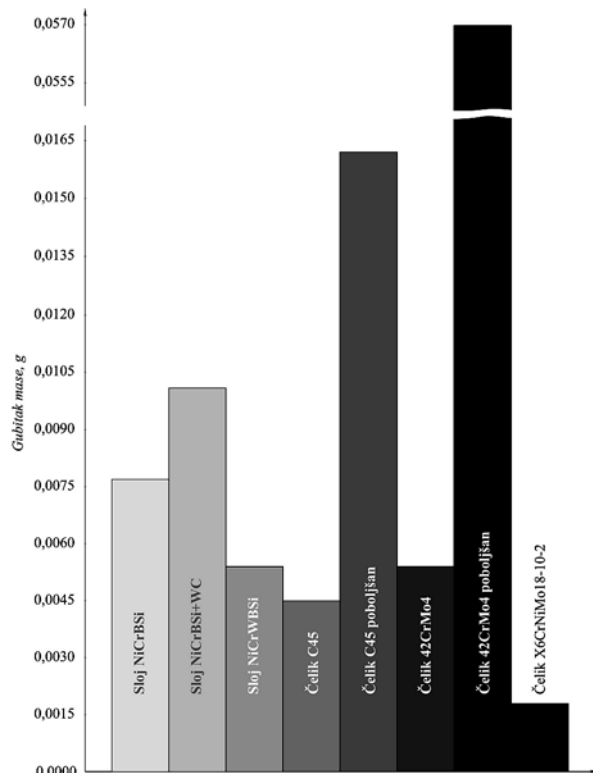
m_1 - masa uzorka prije ispitivanja, g

m_2 - masa uzorka nakon ispitivanja, g.

Uzorci su vagani na analitičkoj vagi rezolucije 10^{-4} g. Iz histogramskih prikaza rezultata ispitivanja (slike 7 i 8), vidljivo je da slojevi NiCrBSi, NiCrBSi+WC i NiCrWBSi, imaju lošiju ili istu otpornost na erozijsko trošenje od čelika C45, 42CrMo4 i X6CrNiMo18-10-2, jer imaju veći srednji gubitak mase od toplinski neobrađenih čelika. Izuzetak su poboljšane strukture čelika C45 i 42CrMo4 koje pokazuju veći srednji gubitak mase nego slojevi. Gubitak mase kod poboljšanog čelika 42CrMo4 je u odnosu na poboljšani čelik C45 veći, no pretpostavka je da je došlo do trošenja okujine koja se stvorila nakon toplinske obrade, tako da se ovi rezultati ne mogu uzeti kao mjerodavni. Čelik X6CrNiMo18-10-2 pokazuje najmanji gubitak mase. Obzirom da slojevi u odnosu na čelike pokazuju veći gubitak mase, ne bi ih imalo smisla primijeniti kao zaštitni sloj kada je prisutno erozijsko trošenje s kutom udara čestica abraziva od 90° .



Slika 7. Histogramski prikaz rezultata nakon 5 minuta ispitivanja
Figure 7. Bar chart of test results (after 5 minutes of testing)



Slika 8. Histogramski prikaz rezultata nakon 10 minuta ispitivanja
Figure 8. Bar chart of test results (after 10 minutes of testing)

3

Zaključak

Conclusion

Sloj NiCrBSi+WC pri ispitivanju otpornosti na erozijsko trošenje ima najveći srednji gubitak mase, tj. najmanju otpornost na erozijsko trošenje. Slaba otpornost kompozitnog sloja s česticama WC može se protumačiti njegovom poroznošću i prisutnošću karbida, odnosno nejednolikom i nehomogenom mikrostrukturom. Svaka pora i karbid predstavljaju podpovršinski i površinski koncentrator naprezanja, te se udarom čestica abraziva, stvara mikropukotina koja napreduje. Spajanjem više mikropukotina dolazi do odnošenja sloja. Uz veću poroznost (i velike pore) i više karbidnih konstituenata, a ovaj sloj u odnosu na ostala dva ima izraženu poroznost i velike čestice karbida, više je koncentratora naprezanja, a time i veće trošenje. Stoga je osnovni mehanizam trošenja umor površine. Sloj NiCrWBSi ima najmanji gubitak mase pri ispitivanju otpornosti na erozijsko trošenje. Sloj NiCrBSi pri ispitivanju otpornosti na erozijsko trošenje pokazao je bolju otpornost od sloja NiCrBSi+WC, a lošiju od sloja NiCrWBSi. Lošija otpornost na erozijsko trošenje sloja NiCrBSi od sloja NiCrWBSi, može se protumačiti manjom tvrdoćom.

Opći je zaključak da se za zaštitu od erozijskog trošenja s kutom udara čestica 90° , neće primijeniti ove vrste slojeva, jer se pokazalo da nemaju bolju otpornost od materijala podloga. Kod kuta udara od 90° tvrdi krhki slojevi imaju lošiju otpornost, dok žilaviji, duktilni materijali podloga (osobito izraženo za najžilaviji materijal podloge, čelik X6CrNiMo18-10-2) pokazuju ili bolju ili istu otpornost. Ovakve tvrde vrste slojeva imalo bi smisla primijeniti pri malim kutovima udara abrazivnih čestica, kada bi bila izraženija abrazivna, a ne udarna erozija.

4

Literatura

References

- [1] Stupnišek, M.; Matijević, B. Pregled postupaka modifikiranja i prevlačenja materijala. // Materijali i tehnološki razvoj / uredio Tomislav Filetin. Zagreb : Akademija tehničkih znanosti Hrvatske, 2002. str. 105-113.
- [2] Mechanical and tribological requirements and evaluation of coating composites. // Modern Tribology Handbook / Bharat Bhushan. Boca Raton, London, New York, Washington : CRC Press LLC, 2001.
- [3] Hogmark, S.; Jacobson, S.; Larsson, M. Design and evaluation of tribological coatings. // Wear. 246 (2000), str. 214-222.
- [4] Ivušić, V. Tribologija. Hrvatsko društvo za materijale i tribologiju, Zagreb, 2002.
- [5] Iordanova, I.; Surtchev, M.; Forcey, K.S. Metallographic and SEM investigation of the microstructure of thermally sprayed coatings on steel substrates. // Surface and Coatings Technology. 139, 2,3(2001), str. 118-126.
- [6] Iordanova, I.; Forcey, K.S.; Gergov, B.; Bojinov, V. Characterisation of flame-sprayed pure metallic and alloyed coatings. // Surface and Coatings Technology. 72 (1995), str. 23-29.
- [7] Vamsi Krishna, B.; Misra, V.N.; Mukherjee, P.S.; Sharma, P. Microstructure and properties of flame sprayed tungsten carbide coating. // International Journal of Refractory Metals and Hard Materials. 20 5-6(2002), str. 355-374.
- [8] Fohl, J.; Weissenberg, T.; Wiedemeyer, J. General aspects for tribological applications of hard particle coatings. // Wear. 130, (1989), str. 275-288.
- [9] Kulu, P.; Pihl, T. Selection criteria for wear resistant powder coatings under extreme erosive wear conditions – review. // Journal of Thermal Spray Technology. 11, 4(2002), str. 517-522.
- [10] Gonzales, R.; Cadenas, M.; Fernandez, R.; Cortizo, J.L.; Rodriguez, E. Wear behaviour of flame sprayed NiCrBSi coating remelted by flame or by laser. // Wear. 262, 3,4(2007), str. 301-307.
- [11] Gil, L.; Staia, M.H. Microstructure and properties of HVOF thermal sprayed NiCrWBSi coatings. // Surface and Coatings Technology. 120-121 (1999), str. 423-429.
- [12] Gil, L.; Staia, M.H. Influence of HVOF parameters on the corrosion resistance of NiCrWBSi coatings. Thin Solid Films. 420-421 (2002), str. 446-454.
- [13] Tu, J.P.; Liu, M.S.; Mao, Z.Y. Erosion resistance of Ni-WC self-fluxing alloy coating at high temperature. // Wear. 209 (1997), str. 43-48.
- [14] Lian, Y.; Yu, L.; Xue, Q. The effect of cerium dioxide on the friction and wear properties of flame spraying nickel-based alloy coatings. // Wear. 181-183 (1995), str. 436-441.
- [15] Rodriguez, J.; Martin, A.; Fernandez, R.; Fernandez, J.E. An experimental study of the wear performance of NiCrBSi thermal spray coatings. // Wear. 255 (2003), str. 950-955.
- [16] Richardson, A.F.; Neville, A.; Wilson, J.I.B. Investigating feasibility of incorporating diamond into metal matrix composites using thermal spraying. // Surface Engineering. 19, 2(2003), str. 114-120.
- [17] Jha, A.K.; Gachake, A.; Prasad, B.K.; Dasgupta, R.; Singh, M.; Yegneswaran, A.H. High stress abrasive wear behavior of some hardfaced surfaces produced by thermal spraying. // Journal of Materials Engineering and Performance. 11, 1(2002), str. 37-45.
- [18] Miranda, J.C.; Ramalho, A. Abrasion resistance of thermal sprayed composite coatings with a nickel alloy matrix and a WC hard phase. Effect of deposition technique and re-melting. // Tribology Letters. 11, 1(2001), str. 37-48.
- [19] Wang, H.; Xia, W.; Yin, Y. A study on abrasive resistance of Ni-based coatings with a WC hard phase. // Wear. 195 (1996), str. 47-52.
- [20] Shieh, Y.; Wang, J.; Shih, H.; Wu, S. Alloying and post-heat treatment of thermal sprayed coatings of self-fluxing alloys. // Surface and Coating Technology. 58, (1993), str. 73-77.
- [21] Grigorescu, I.C.; Soto-Rosa, R.; Gonzalez, J.J.; de Vita, Y. Tribological behaviour of sprayed coatings for shaft restoration. // Surface and Coatings Technology. 45, (1991), str. 263-272.

- [22] Hejwowski, T.; Szezyk, A.; Weroni, A. An investigation of the abrasive wear of flame-sprayed coatings. // *Journal of Materials Processing Technology*. 106, (2000), str. 54-57.
- [23] Miguel, J.M.; Guilemany, J.M.; Vizcaino, S. Tribological study of NiCrBSi coating obtained by different processes. // *Tribology International*. 36, 3(2003), str. 181-187.
- [24] Habig, K.H.: Wear behaviour of surface coatings on steels. // *Tribology International*. 22, (1989), str. 65-73.
- [25] Murakami, K.; Fujita, N.; Hanatate, Y.; Adachi, S.; Nakajima, H. Oxide in Ni-Cr coatings produced by thermal spraying in air. // *Surface Engineering*. 17, 5(2001), str. 397-404.
- [26] Hidalgo, H.V.; Varela, B.J.; Martinez, P.S. High temperature erosion wear of flame and plasma-sprayed nickel-chromium coatings under simulated coal-fired boiled atmosphere. // *Wear*. 247, (2001), str. 214-222.
- [27] Matthews, S.J.; James, B.J.; Hyland, M.M. Microstructural influence on erosion behavior of thermal spray coatings. // *Material Characterisation*. 58, 1(2007), str. 59-64.
- [28] Otsubo, F.; Era, H.; Kishitake, K. Structure and phases in nickel-base self-fluxing alloy containing high chromium and boron. // *Journal of Thermal Spray Technology*. 9, 1(2000), str. 107-113.
- [29] Otsubo, F.; Era, H.; Kishitake, K. Interface reaction between nickel-base self-fluxing alloy coating and steel substrate. // *Journal of Thermal Spray Technology*. 9, 2(2000), str. 259-263.
- [30] Barbezat, G.; Nicoll, A.R.; Sickinger, A. Abrasion, erosion and scuffing resistance of carbide and oxide ceramic thermally sprayed coatings for different applications. // *Wear*. 162,164, (1993), str. 529-537.
- [31] Lathabai, S.; Ottmuller, M.; Fernandez, I. Solid particle erosion behaviour of thermal sprayed ceramic, metallic and polymer coatings. // *Wear*. 221, (1998), str. 93-108.
- [32] Kim, H.J.; Hwang, S.Y.; Lee, C.H.; Juvanon, P. Assessment of wear performance of flame sprayed and fused Ni-based coatings. // *Surface and Coatings Technology*. 172, (2003), str. 262-269.
- [33] Esteban Fernández, J.; Ma Rocio Fernández, Vijande Diaz, R.; Tucho Navarro, R. Abrasive wear analysis using factorial experiment design. // *Wear*. 255, 1,6(2003), str. 38-43.
- [34] Navas, C.; Colaco, R.; Damborenea, J.; Vilar, R. Abrasive wear behaviour of laser and flame sprayed-melted NiCrBSi coatings. // *Surface and Coatings Technology*. 200, 24(2006), str. 6854-6862.
- [35] Cha, S.C.; Wolpert, P. Corrosion of coating materials in oxidizing and hydrogen chloride containing atmospheres. // *Materials and corrosion-Werkstoffe und Korrosion*. 53, 12(2002), str. 886-892.
- [36] Grigorescu, I.C.; Dirauso, C.; Drirahalouani, R.; Lavelle, B.; Digiampaolo, R.; Lira, J. Phase characterization in Ni alloy hard carbide composites for fused coatings. // *Surface and Coatings Technology*. 77, 1,3(1995), str. 494-498.
- [37] Yeung, C.F.; Mei, D. Investigation on the microstructure of spray coating. // *Journal of Materials Processing Technology*. 68, 3(1997), str. 275-278.
- [38] Thermal spraying and detonation gun processes. // *Handbook of Hard Coatings / Rointan F. Bunshah*. Norwich, New York : Noyes Publications/William Andrew Publishing LLC, 2001. str. 77-107.
- [39] Šimunović, K. Doktorska disertacija - Optimizacija tribo-mehaničkih svojstava plinski naštrcanih slojeva. Zagreb : Fakultet strojarstva i brodogradnje, 2004.

Author's Address (Adresa autora):

Dr. sc. Katica Šimunović
 Strojarški fakultet u Slavanskom Brodu
 Sveučilište u Osijeku
 Trg Ivane Brlić-Mažuranić 2
 35000 Slavonski Brod, Croatia
 Tel. +385 35 446 718, Fax. +385 35 446 446
 e-mail: katica.simunovic@sfsb.hr

Doc. dr. sc. Krešimir Grilec
 Fakultet strojarstva i brodogradnje
 Sveučilište u Zagrebu
 Ivana Lučića 5
 10000 Zagreb, Croatia
 Tel. +385 1 6168 389, Fax. +385 1 6157 126
 e-mail: kresimir.grilec@fsb.hr

Prof. dr. sc. Vinko Ivušić
 Fakultet strojarstva i brodogradnje
 Sveučilište u Zagrebu
 Ivana Lučića 5
 10000 Zagreb, Croatia
 Tel. +385 1 6168 314, Fax. +385 1 6157 126
 e-mail: vinko.ivusic@fsb.hr