

MIKROSTRUKTURA IN LASTNOSTI POVR[INE NIZKO-OGLJI^NEGA JEKLA PO OBDELAVI Z LASERJEM

MICROSTRUCTURE AND PROPERTIES OF LOW-CARBON STEEL AFTER THE LASER SURFACE TREATMENT

SONJA SPRUK¹, A. RODI², B. PRA^EK¹

¹Institut za tehnologijo povr[ine in optoelektroniko, Teslova 30, 1000 Ljubljana

²Institut za kovinske materiale in tehnologije, Lepi pot 11, 1000 Ljubljana

Prejem rokopisa - received: 1997-10-01; sprejem za objavo - accepted for publication: 1997-12-19

Ena od tehnologij, ki izboljšajo zanesljivost, kvaliteto in trajnost industrijskih izdelkov, je obdelava povr[ine kovinskih delov z laserskim 'arkom. Povr[ino lahko obdelamo s transformacijskim utrjevanjem, nataljevanjem povr[inske plasti ali z legiranjem tanke raztaljene plasti. Namen našega dela je bila raziskava mikrostrukture in lastnosti nizkoogljji-nega jekla ZF7 (ISO 20MnCr5) po obdelavi in legiranju povr[ine z laserskim 'arkom. Na del vzorcev smo pred lasersko toplotno obdelavo nanegli P10 µm debelo plast ogljika. Na pre-nih prerezih vzorcev smo z opti-no mikroskopijo opazovali spremembe mikrostrukture ter z AES-profilno analizo ugotavljali globinsko porazdelitev elementov na laserskemu 'arku izpostavljenih vzorcih jekla ZF7 in C/ZF7. Preiskovali smo vpliv različne hrapavosti povr[ine jekla na globino cone, povzro-ene z lasersko toplotno obdelavo, in izmerili trdoto te cone. Rezultati merjenja mikrotrdote so pokazali, da se po obdelavi z laserskim 'arkom mo-no utrdi povr[ina vzorca, kar pripisujemo spremembi feritno-perlitne mikrostrukture v martenzitno-bainitno.

Ključne besede: nizkoogljji-no jeklo, laser, taljenje, legiranje, mikrostruktura, trdota, AES

One of technologies for improving the reliability, quality and durability of industrial products is the heat treatment of the metal surface with laser beam. The laser surface treatment currently used in industry can be divided into transformation hardening, surface remelting and surface alloying. The purpose of this work was an investigation of the microstructure and properties of low-carbon steel ZF7 (ISO 20MnCr5) after the laser surface treatment and surface alloying. The laser alloying was done by preliminary deposition of a C thin film P10 µm thick on the surface of the specimens and the laser heat treatment. On the samples' cross section changes in microstructure were investigated by optical microscopy. The influence of different roughness of steel's surface on the depth of the laser affected zone was studied. In the base steel ZF7 and in the laser affected zone a microhardness was measured. To follow the in-depth distribution of the alloy elements, the laser treated ZF7 and C/ZF7 samples were AES depth profiled. As the result of microhardness measurements it was established that the laser surface treatment leads to a significant hardening of the surface, due to changes in the microstructure of the observed area.

Key words: lowcarbon steel, laser, melting, alloying, microstructure, hardness, AES

1 UVOD

V novejših procesih obdelave materialov je bil dosežen velik napredek z uporabo visoko-energijskih laserjev. Spremembe na povr[ini materialov, povzro-ene zaradi vpliva laserskega 'arka vodijo do razvoja oz. nastanka plasti s hitro strjeno, izredno fino mikrostrukturo¹⁻⁶. Obrabna obstojnost take mikrostrukture se pove-a v primerjavi s tisto, dose'eno s konvencionalnimi tehnikami povr[inskih obdelav, pri katerih dobimo grobo mikrostrukturo, neenakomerno porazdelitev primarnih karbidov, izrazito segregacijo legirnih elementov, termi-ne napetosti v obdelovancu in ve-jo toplotno vplivano cono. Z uporabo hitro strjujo-ih tehnik, kot so kaljenje in laserski procesi, lahko odpravimo ve-ino teh neza'elenih lastnosti.

Taljenje povr[ine z laserskim 'arkom je proces, pri katerem se povr[ina obdelovanca po prehodu visokoenergijskega 'arka izredno hitro stali in ponovno strdi. Povr[inska staljena plast ima fino in dokaj homogeno strukturo, ki je pogosto tr[ea in bolj obstojna kot neobdelan material. Legiranje povr[ine z laserskim 'arkom je podoben proces kot taljenje povr[ine, le da v staljeno

cono dodajamo {e drug material (legirni prah z ustrezno sestavo). Tako dobimo kompaktno metalur{ko prevleko, vezano na osnovni material. Povr[insko legiranje lahko izvedemo na dva na-ina⁷:

- legirni material kontinuirno dodajamo v talilno cono med povr[inskim taljenjem z inertnim nosilnim plinom
- legirni material naneseemo na povr[ino pred taljenjem.

To lahko storimo enostavno s premazom povr[ine obdelovanca z me{anico prahu ali z raznimi postopki nana{anja, kot so galvanski, PVD in drugi.

Na{ namen je bil raziskati mikrostrukturo, kemi-no sestavo ter mikrotrdoto plasti, dose'ene po taljenju oziroma legiranju povr[ine jekla z ogljikom s pomo-jo laserskega 'arka.

2 EKSPERIMENTALNI DEL

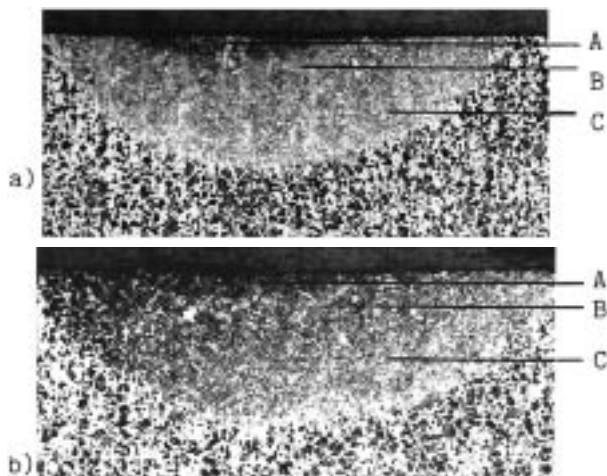
Za poskus obdelave jekla z laserskim 'arkom smo uporabili kontinuirni CO₂ laser z mo-jo 0.5 kW, proizvajalca Fotona iz Slovenije. Preiskovali smo cilindri-ne vzorce cementacijskega jekla ZF7 (φ = 28 mm) z nasled-

njo kemi-no sestavo: 0,20% C, 0,35% Si, 1,22% Mn, 1,13% Cr, 0,02% S, 0,02% P, ostalo Fe. Vzorce smo narezali na debelino 5 mm. Površino polovice vzorcev smo spolirali, drugo polovico smo pustili nepolirano. Na del poliranih in nepoliranih vzorcev smo pred lasersko površinsko obdelavo s -opi-em nanegli P10 μm debelo plast ogljika (Aquadag). Debelino ogljikove plasti smo izmerili z merilnikom TENCOR Alpha Step 100. Vzorce smo nato izpostavili kontinuirnemu laserskemu 'arku pod naslednjimi pogoji: hitrost pomikanja vzorca 16,6 mm/s, mo- 330W. @ari{-e laserskega 'arka se je nahajalo 6 mm nad površino vzorca pri gori{-ni razdalji fokusirnih le- 6,35 cm. Premer laserskega 'arka na površini obdelovanega vzorca je bil P1,2 mm, razdalja med posameznimi laserskimi sledmi pa je bila 1,5 mm. Pod temi pogoji se je na površini vzorcev formirala lasersko modificirana plast, ki smo jo preiskali z opti-no mikroskopijo na predhodno pripravljenih metalografskih obrusih. Vzorce smo prerezali pre-no in vzdol'no na laserske sledi, jih zbrusili na vodobrusnih papirjih in spolirali z Al_2O_3 , granulacije 0,3 μm in 0,05 μm . Polirane vzorce smo jedkali z 2% nitalom. Na tako pripravljenih vzorcih smo opazovali spremembe mikrostrukture, preiskovali vpliv razli-ne hrapavosti površine vzorcev jekla na izoblikovanje obdelane cone in izmerili njeno trdoto. Za merjenje mikrotrdote smo uporabili preskus mikrotrdote po Vickersu z obte'bo 100 g. Z analizo Augerjevih elektronov (AES) smo izvedli analizo elementov na pre-nem prerezu obdelanih vzorcev s spektrometrom Augerjevih elektronov PHI SAM 545A. Za AES-analizo smo uporabili naslednje parametre: energija primarnih elektronov 5 keV, tok elektronov 0,5 μA , premer elektronskega curka pod 20 μm . Faktorje občutljivosti elementov za Augerjev prehod, ki smo jih uporabili za izra-un kemi-ne sestave, smo vzeli iz priro-nika PHI[®]. Za opazovanje globinske porazdelitve elementov na obdelanih vzorcih jekla ZF7 ter jekla s predhodno nanoseno plastjo ogljika smo uporabili AES-profilno analizo. Vzorce smo ionsko jedkali z dvema simetri-nima vpadnima curkoma Ar^+ ionov energije 3 keV na površini 5 x 5 mm pod vpadnim kotom 47°. Hitrost jedkanja okoli 10 nm/min je bila dolo-ena na standardni ve-plastni strukturi Ni/Cr.

3 REZULTATI IN DISKUSIJA

3.1 Mikrostruktura

Po laserski obdelavi poliranega vzorca jekla ZF7 smo dobili tri mikrostrukturno razli-ne plasti. Mikrostruktura prve plasti je bila sestavljena iz martenzita, druga iz martenzita in bainita ter tretja iz martenzita, netransformiranega ferita in bainita (slika 1a). Sledila je za-etna mikrostruktura jekla ZF7, ki smo jo imeli pred obdelavo z laserskim 'arkom - zrna ferita in perlita ter zgornji bainit. Globina vplivane cone je bila od 220 do 300 μm , širina od 800 do 950 μm . Pri nepoliranem vzorcu jekla

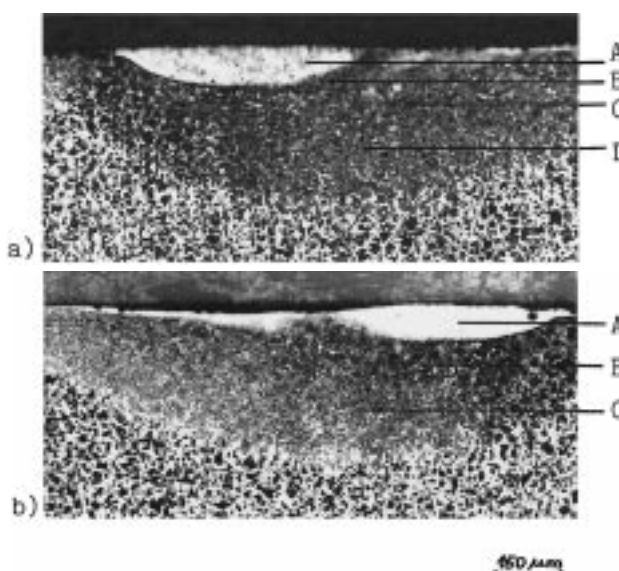


Slika 1: Mikrostruktura po obdelavi s CO_2 laserjem a) poliranega vzorca ZF7 in b) nepoliranega ZF7, jedkano z 3% nitalom, pove-ava 30-kratna

Figure 1: Microstructure after laser treatment of the a) polished ZF7 sample and b) unpolished ZF7 sample, etched with 3% nital, 30x

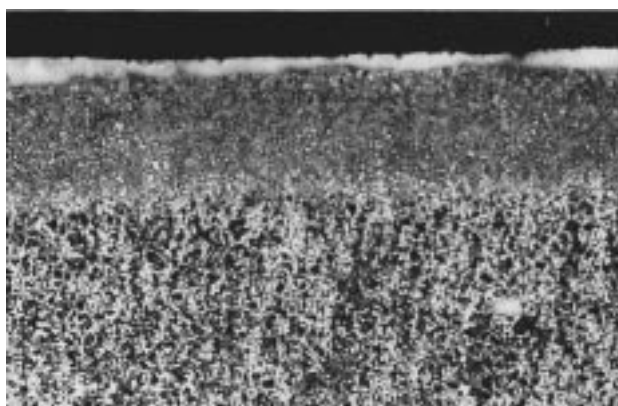
ZF7 smo dobili ravno tako tri mikrostrukturno razli-ne plasti. Mikrostruktura vseh treh plasti je bila enaka kot pri poliranem vzorcu (slika 1b). [irina cone je bila od 950 do 1150 μm , globina od 280 do 350 μm .

Po laserski obdelavi poliranega vzorca jekla ZF7, na katerega smo predhodno nanegli plast ogljika, smo dobili staljeno plast, katere mikrostruktura je bila sestavljena iz zaostalega avstenita ter karbidov v meddendritskih prostorih. Druga plast je bila sestavljena iz martenzita, tretja iz martenzita in bainita ter -etrta iz martenzita in ferita (slika 2a). [irina vplivane cone je bila 1450 μm , globina 450 μm . Pri nepoliranem vzorcu z nanoseno plastjo



Slika 2: Mikrostruktura po obdelavi s CO_2 laserjem a) poliranega vzorca C/ZF7 in b) nepoliranega C/ZF7, jedkano z 3% nitalom, pove-ava 30-kratna

Figure 2: Microstructure after laser treatment of the a) polished C/ZF7 sample and b) unpolished C/ZF7 sample, etched with 3% nital, 30x



200 μm

Slika 3: Vzdol'ni prerez nepoliranega vzorca C/ZF7 po obdelavi z laserskim 'arkom, jedkano z nitalom, pove-ava 50-kratna

Figure 3: Longitudinal section of the unpolished C/ZF7 sample after laser treatment, etched with 3% nital, 50x

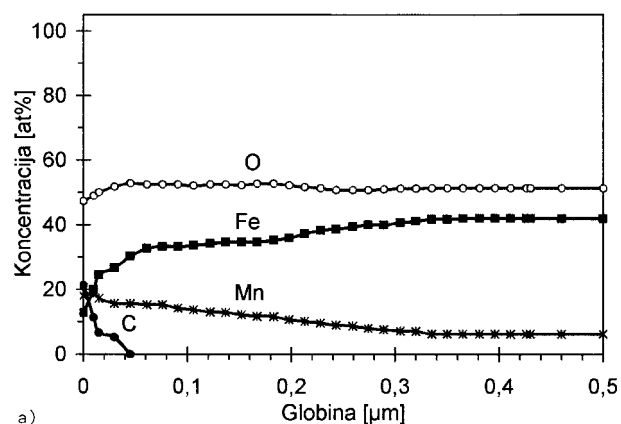
ogljika je bila mikrostruktura staljene cone sestavljena iz karbidov, martenzita in avstenita. V drugi coni sta bila prisotna martenzit in bainit, v tretji pa martenzit in ferit (**slika 2b**). Nepoliran vzorec smo prezekali tudi vzdol'no

na lasersko sled. Na **sliki 3** je prikazana zvezna, enakomerno debela (380 μm) utrjena plast, z enakimi mikrostrukturnimi plastmi, kot jih vidimo na pre-nem prerezu na **sliki 2b**.

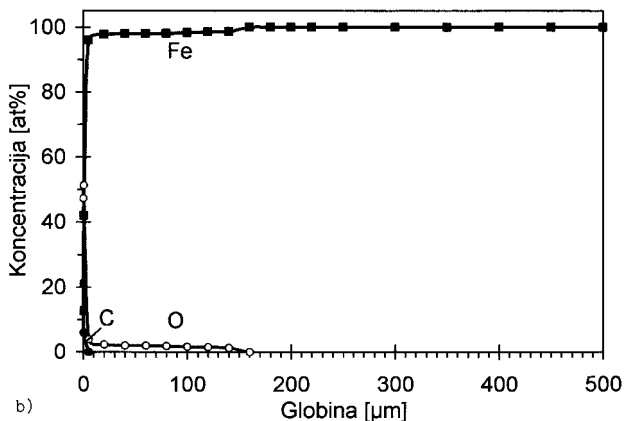
3.2 Globinska porazdelitev elementov

AES-globinski profil, posnet na nepoliranem vzorcu ZF7 po obdelavi z laserskim 'arkom, je pokazal (**slika 4a**), da je površina mo-no oksidirana, kar pripisujemo izvedbi poskusa na zraku. Zaradi velike afinitete do kisika, je mangan difundiral na površino. Ker je bilo v osnovnem materialu dovolj ogljika, je le-ta segregiral na površino, kar se odra'a v kontaminaciji vzorca z ogljikom v zgornjih plasteh površine. AES-analiza elementov na pre-nem prerezu istega vzorca, narejena v korakih po 20 μm od roba vzorca proti notranjosti, je pokazala, da oksidna plast sega v globino P160 μm (**slika 4b**).

AES-globinski profil, posnet na poliranem vzorcu ZF7 s predhodno naneseo plastjo ogljika po obdelavi z laserskim 'arkom (**slika 5a**), je pokazal, da je na površini oksidna plast, ki v globini nekaj μm popolnoma izgine (**slika 5b**). Verjetno je plast ogljika na površini



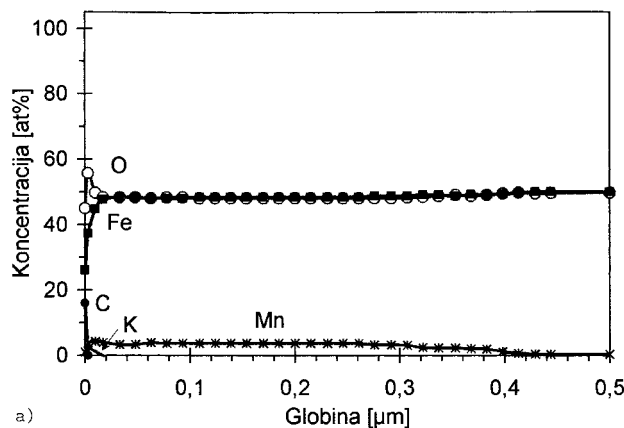
a)



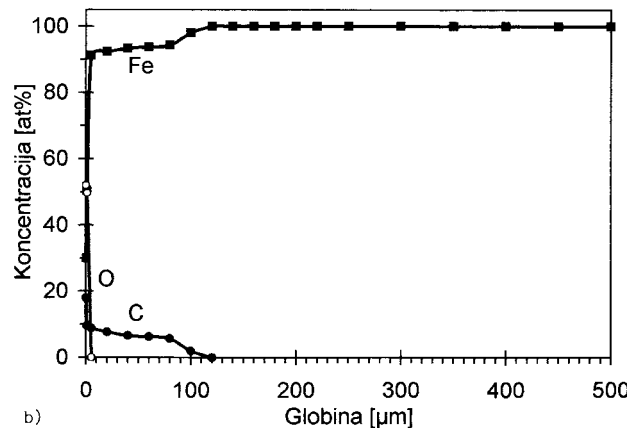
b)

Slika 4: a) AES-globinski profil, posnet na nepoliranem vzorcu ZF7, po obdelavi z laserskim 'arkom b) AES analiza elementov na pre-nem prerezu vzorca ZF7 po obdelavi z laserskim 'arkom

Figure 4: a) AES depth profiling, obtained on the laser treated unpolished ZF7 sample b) AES analysis of elements on the cross section of the laser treated ZF7 sample



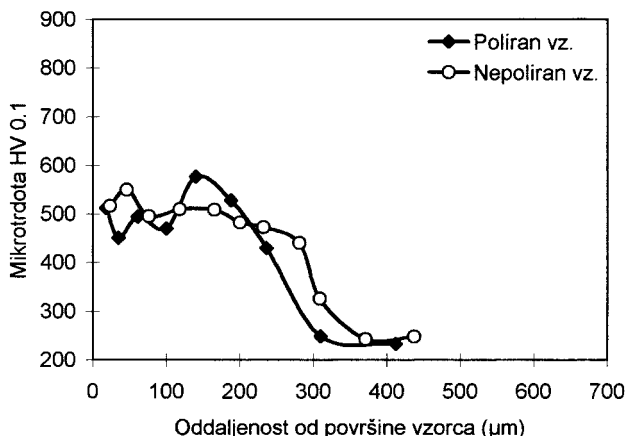
a)



b)

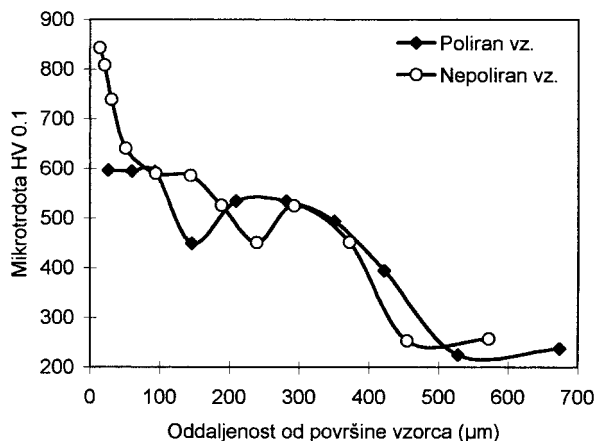
Slika 5: a) AES globinski profil, posnet na poliranem vzorcu C/ZF7, po obdelavi z laserskim 'arkom b) AES analiza elementov na pre-nem prerezu vzorca C/ZF7 po obdelavi z laserskim 'arkom

Figure 5: a) AES depth profiling, obtained on the laser treated polished C/ZF7 sample b) AES analysis of elements on the cross section of the laser treated C/ZF7 sample



Slika 6: Mikrotrdota poliranega in nepoliranega vzorca ZF7 po obdelavi z laserskim 'arkom

Figure 6: Microhardness after laser treatment of the polished and unpolished ZF7 sample



Slika 7: Mikrotrdota poliranega in nepoliranega vzorca C/ZF7 po obdelavi z laserskim 'arkom

Figure 7: Microhardness after laser treatment of the polished and unpolished C/ZF7 sample

vzorca C/ZF7 prepre-ila, da bi nastala debelejša oksidna plast, kar se je zgodilo pri vzorcu ZF7. Do globine 0,4 µm smo opazili tudi mangan, ki je iz osnovnega materiala difundiral na površino. Površina vzorca je bila zaradi izpostave okoliški atmosferi ter zaradi veziva v ogljikovem premazu kontaminirana z ogljikom in kalijem. AES-analiza elementov na pre-nem prerezu vzorca C/ZF7 je pokazala (slika 5b), da je zaradi mešanja ogljika, ki smo ga nanесли na površino vzorca in osnovnega materiala v nastali talilni coni, koncentracija ogljika povišana do globine P120 µm, potem pa je ogljik izginil, oziroma ga z uporabljeno analizo metodo nismo mogli ve-ugotoviti.

3.3 Trdota

Meritve trdote so pokazale, da je v talilni in toplotno vplivani coni na vzorcu ZF7 trdota po Vickersu HV 0,1 dosegla vrednosti od 430 do 570, trdota osnovnega materiala je bila približno 240 HV 0,1. Med poliranim in nepoliranim vzorcem v rezultatih merjanja trdote nismo opazili razlik, kar je razvidno na sliki 6.

Zato pa so bile te razlike opazne pri vzorcu ZF7, na katerega smo pred izpostavo laserskemu 'arku nanесли P10 µm debelo plast ogljika. Pri poliranem vzorcu smo izmerili trdoto v talilni coni v višini 590 HV 0,1, v toplotno vplivani coni pa od 450 do 535 HV 0,1. Pri nepoliranem vzorcu so bile izmerjene trdote višje, in sicer v talilni coni od 650 do 950 in v toplotno vplivani coni od 450 do 590 HV 0,1 (slika 7). Tako velike razlike v meritvah trdote v talilni coni so nastale zaradi naključno izbranega merilnega mesta, ki je bil lahko na martenzitu ali na zaostalem avstenitu.

4 SKLEPI

Izvedli smo poskuse površinskega taljenja in legiranja jekla s kontinuirnim laserskim varilnikom CO₂. Preiskali smo mikrostrukturo, kemično sestavo in mikrotrdoto površinske plasti, nastale na nizkoogljiknem

jeklu ZF7 po prehodu laserskega 'arka preko površine. Na podlagi dobljenih rezultatov lahko sklenemo:

Po obdelavi površine vzorca ZF7 z laserskim 'arkom se feritno-perlitna mikrostruktura spremeni v martenzit in bainit, po obdelavi površine vzorca C/ZF7 pa v martenzit, zaostali avstenit in bainit. Globina oz. širina cone, povzročena zaradi vpliva laserskega 'arka je večja pri vzorcih s hrapavo površino. [e večja je pri vzorcih, na katere smo predhodno nanесли plast ogljika. Po obdelavi z laserskim 'arkom se mo-no u-trdi površina vzorcev. Zaradi velike afinitete do kisika, mangan difundira na površino.

ZAHVALA

Delo je finan-no podprlo Ministrstvo za znanost in tehnologijo Republike Slovenije, Ljubljana, projekt J2-7641-1536.

5 LITERATURA

- M. Tsujikawa, N. Yoshida, M. Kawamoto, M. Hiramatsu, *Proc. of the 5th World Seminar on Heat Treatment and Surface Engineering*, IFHT '95, Isfahan, Iran, 1995, 535-540
- L. S. Lyakhovich, S. A. Isakov, V. M. Kartoshkin, V. P. Pakhadnya, *Metal Science and Heat Treatment*, (1987) 3, 177-182
- K. Nagarathnam, K. Komvopoulos, *Metallurgical and Materials Transactions A*, 26A (1995) 2131-2139
- S. Spruk, A. Rodi-, B. Pra-ek, *Kovine, Zlitine, Tehnologije*, 30 (1996) 1-2, 143-146
- P. Oakley, *Proc. of the International Conference Laser Material Processing*, Opatija, 1995, 143-154
- J. M. Pelletier, P. Sallamand, S. Asika, *Proc. of the 5th World Seminar on Heat Treatment and Surface Engineering*, IFHT '95, Isfahan, Iran, 1995, 523-528
- M. Heydarzadeh Sohi, *Proc. of the 5th World Seminar on Heat Treatment and Surface Engineering*, IFHT '95, Isfahan, Iran, 1995, 497-508
- L. E. Davis, N. C. Macdonald, P. W. Palmeg, G. E. Riach, R. E. Weber, *Handbook of Auger Electron Spectroscopy*, 2nd ed., Physical Electronics Industries, Eden Prairie, MA, 1976