

Laserska toplotna obdelava površine orodnega jekla OCR 12

Laser Surface Heat Treatment of Tool Steel OCR 12

S. Spruk¹, B. Praček, IEVT Ljubljana

A. Rodič, Inštitut za kovinske materiale in tehnologije, Ljubljana

Prejem rokopisa - received: 1995-10-04; sprejem za objavo - accepted for publication: 1995-12-22

Proučevali smo lasersko toplotno obdelavo orodnega jekla OCR 12 (WNo 1.2080; DIN X210Cr12) pri konstantni energiji, frekvenci in pomiku laserskega žarka, spreminjali pa smo oddaljenost žariščne točke laserskega žarka od površine vzorca. V toplotno vplivani coni in v osnovnem jeklu OCR 12 smo merili trdoto, opazovali spremembo mikrostrukture z optično mikroskopijo in s spektroskopijo Augerjevih elektronov analizirali vsebnosti legirnih elementov.

Ključne besede: laser, toplotna obdelava, mikrotrdota, mikrostruktura

The laser surface heat treatment of the tool steel OCR 12 (WNo 1.2080; DIN X210Cr12) at a constant energy, frequency and speed of the laser beam, and at a changed laser focus distance from a sample surface was investigated. In the heat treated zone and in the base steel OCR 12 a hardness was measured and changes in microstructure were observed by optical microscopy, the concentration of alloy elements was measured by AES (Auger Electron Spectroscopy).

Key words: laser, heat treatment, microhardness, microstructure

1 Uvod

Bistvo tehnološkega napredka je razvoj novih tehnologij, ki izboljšajo zanesljivost, kvaliteto in trajnost industrijskih izdelkov. Ena od tehnologij je toplotna obdelava površine kovinskih delov z laserskim žarkom, z namenom, izboljšati njihovo obrabno obstojnost¹. Laserska toplotna obdelava površine se odlikuje pred drugimi toplotnimi obdelavami zaradi naslednjih lastnosti:

- Z laserskim žarkom lahko utrdimo ozko omejena področja materiala, medtem ko v ostalem materialu ostanejo lastnosti nespremenjene, česar z razpoložljivimi toplotnimi obdelavami ne moremo doseči.
- Z laserskim legiranjem površine z različnimi elementi lahko dosežemo specifične lastnosti površin (fizikalne, mehanske, kemijske).
- Majhne deformacije obdelovancev.
- Ni potreben vakuum, dovolj je, da obdelovalno površino opihujemo z varovalnim plinom.

Za lasersko toplotno obdelavo je značilno izredno hitro segrevanje in ohlajanje površine materiala, preko katere se pomika laserski žarek.

Površino lahko toplotno obdelamo na tri načine:

- transformacijsko utrjevanje: segrevanje v gama trdno raztopino in kaljenje
- nataljevanje površinskega sloja
- legiranje tanke raztaljene plasti

Pri transformacijskem utrjevanju jekel morajo biti parametri laserske toplotne obdelave taki, da se temperatura površine obdelovanca dvigne v austenitno območje, vendar ne sme priti do taljenja materiala. V austenitnem območju je topnost ogljika večja kot v alfa območju. Karbidi se v austenitnem območju raztapljajo. S hitrim ohlajanjem iz austenitnega območja dobimo prisilno raztopino ogljika v alfa železu, imenovano martenzit, ki je trd in obrabno obstojen².

Za površinsko toplotno obdelavo običajno uporabljajo CO₂ laserje z močjo >1,5 kW. Za obdelavo miniaturnih delov uporabljajo laserje Nd-YAG in Nd-steklo, ki imajo manjšo moč³.

Za toplotno obdelavo z laserskim žarkom so primerna konstrukcijska in orodna jekla ter lito železo⁴.

Cilj našega dela je bil ugotoviti, katere parametre laserskega transformacijskega utrjevanja moramo uporabiti za obdelavo legiranega orodnega jekla OCR 12, da bi dosegli primerno površinsko trdoto.

2 Eksperimentalni del

Za preiskave smo uporabili vzorce legiranega orodnega jekla OCR 12 z naslednjo kemično sestavo: 1,95-2,2% C, 0,3% Si, 0,3% Mn, 11-13% Cr, dodatek V. Vzorci so bili dimenzij ϕ 20 x 3 mm.

Za površinsko toplotno obdelavo smo uporabili pulzirajoči laserski varilnik J. K. Lasers z lasersko palico Nd-steklo⁵. Svetlobni žarek koherentne svetlobe valovne dolžine 1,064 μ m je bil oblikovan tako, da se je žarišče laserskega žarka nahajalo točno na površini obdelovanca, nato smo spreminjali gostoto moči na enoto površine s tem, da smo povečevali razdaljo med

¹ Mag. Sonja SPRUK
Inštitut za tehnologijo površin in optoelektroniko
1000 Ljubljana, Teslova 30

žariščem in površino obdelovanca od 0 do 7 mm. Hitrost pomikanja laserskega žarka je bila konstantna (5 mm/s), ravno tako sta bila konstantna frekvenca pulza (15 Hz) in trajanje pulza (15 ms).

Po laserski toplotni obdelavi smo vzorce prerezali pravokotno na sledi laserskega žarka in izdelali metalografske obruse, katere smo jedkali z 2% nitalom. Spremembo mikrostrukture, nastale zaradi vpliva laserskega žarka, smo preiskali z optično mikroskopijo. Za merjenje trdote v osnovnem materialu, v raztaljeni plasti ter v pravilno utrjeni plasti, smo uporabili test mikrotrdote po Vickersu z obtežbo 100 gr.

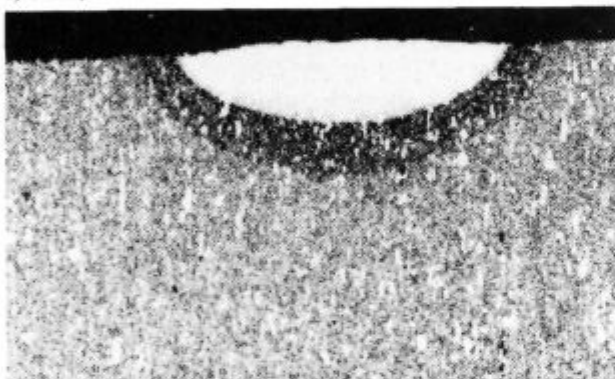
AES analizo elementov na prečnem prerezu laserskemu žarku izpostavljenega vzorca smo izvedli s pomočjo spektrometra Augerjevih elektronov PHI SAM 545A. Za AES analizo smo uporabili naslednje parametre: energijo primarnih elektronov 5 keV, tok elektronov 0.5 μ A, premer elektronskega curka približno 30 μ m. Faktorje občutljivosti elementov za Augerjev prehod, ki smo jih uporabili za izračun kemične



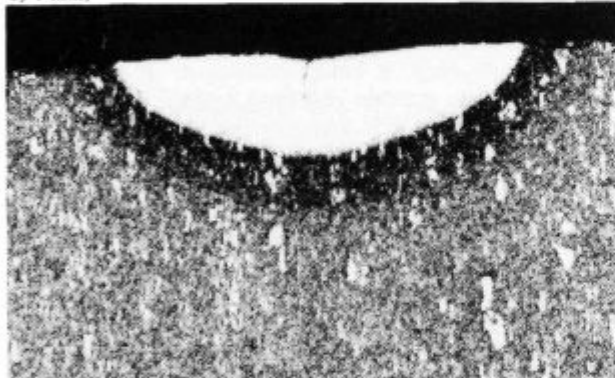
Slika 1: Mikrostruktura orodnega jekla OCR 12, jedkano z nitalom, 200 x

Figure 1: Microstructure of the tool steel OCR 12, etched with nital, 200 x

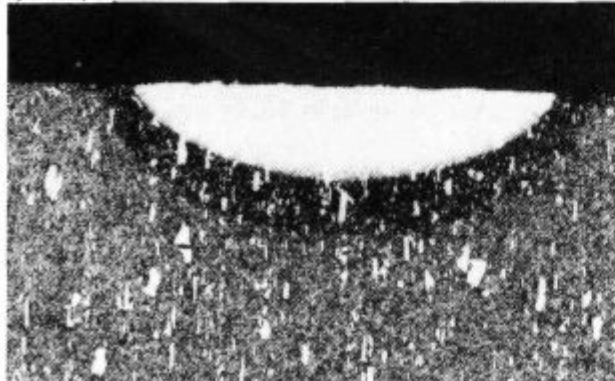
a) 0 mm;



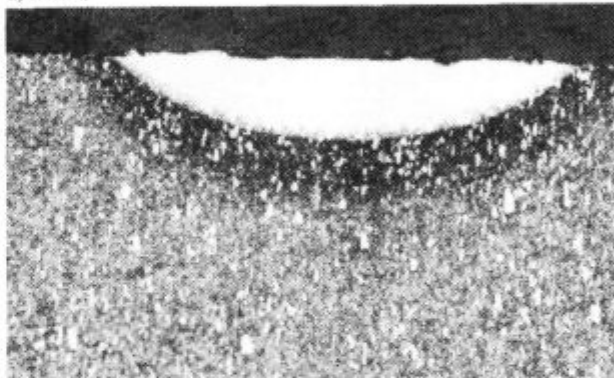
b) 1 mm;



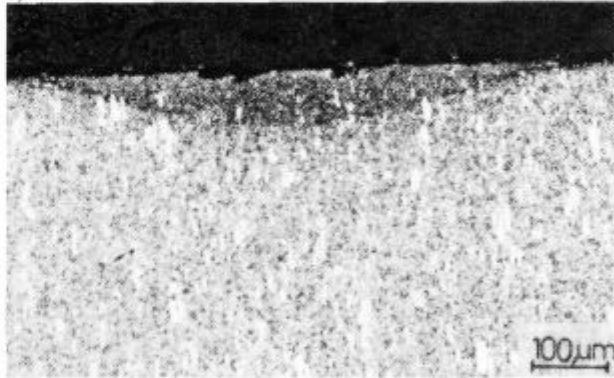
c) 3 mm;



d) 5 mm;



e) 7 mm



Slika 2: Vpliv oddaljenosti žarišča od površine vzorca na izoblikovanje utrjene plasti, jedkano z nitalom, 100 x

Figure 2: Influence of the laser focus distance from the sample surface on the hardened layer, etched with nital, 100 x

sestave smo izračunali glede na poprečno sestavo svežega vzorca.

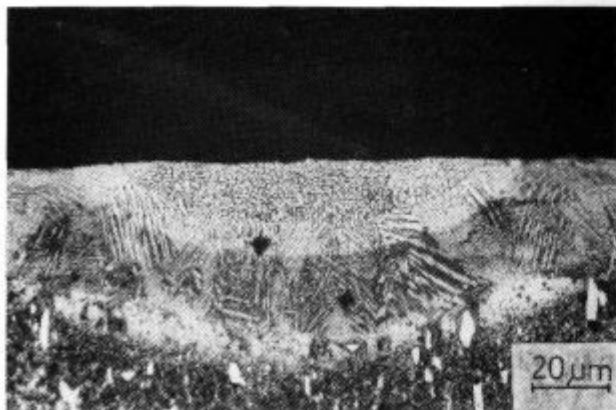
3 Rezultati

Mikrostrukturne spremembe, do katerih pride pri toplotni obdelavi z laserskim žarkom so odvisne od časa, temperature ter hitrosti ogrevanja in ohlajanja površine materiala, ki ga obdelujemo. Lokalno segreto območje se zaradi velikega temperaturnega gradienta ohlaja z veliko hitrostjo. Preiskovano jeklo OCR 12 je bilo v žarjenem stanju s trdoto 290 HV 0.1. Mikrostruktura osnovnega materiala je prikazana na **sliki 1**. Pri laserski toplotni obdelavi orodnega jekla OCR 12 smo v izredno kratkem času (nekaj ms) dovedli veliko energijo. Zaradi opažene strjevalne mikrostrukture in velike globine staljene plasti predpostavljamo, da se je jeklo na površini ogrelo do približno 2000°C, odvisno od razdalje med žariščem laserskega žarka in površino obdelovanca. Če je bilo žarišče na površini jekla ali oddaljeno do 5 mm, se je jeklo raztalilo, nastala je homogena talina. Raztaljena plast se je ponovno strdila, pod njo pa je bila plast pravilno utrjenega jekla.

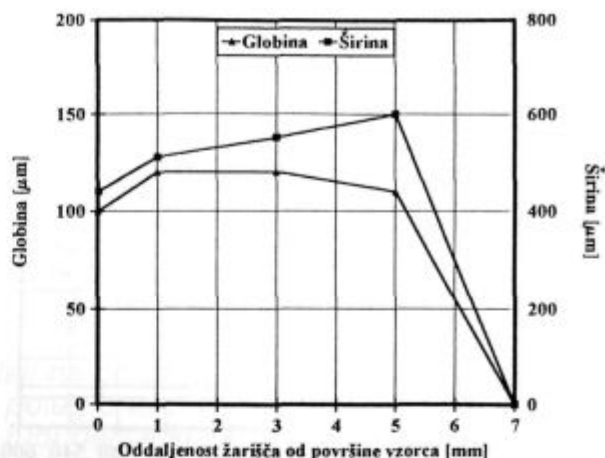
Plast s strjevalno mikrostrukturo je po jedkanju z 2% nitalom bele barve (**slika 2a-d**), kar pomeni, da je nital ni najedkal. Ta mikrostruktura je pri sobni temperaturi sestavljena iz evtektičnih karbidov, martenzita in zaostalega austenita ter je zaradi izrazito hitrega taljenja in strjevanja zelo fina oz. drobna, kar vidimo na **sliki 3**. Dendriti v strjevalni mikrostrukturi imajo razdalje med sekundarnimi dendritnimi vejami manjše od 1 μm . Zaradi tega lahko pričakujemo, da bo obrabna obstojnost in žilavost raztaljene plasti vsaj enakovredna, če ne boljša, kot pravilno termično obdelano osnovno jeklo, ki ima bistveno večja in neenakomerno porazdeljena karbidna zrna.

Mikrostruktura druge plasti je bila v času laserske obdelave sestavljena iz austenita in evtektičnih karbidov (**slika 2a-d, temna plast**). To plast lahko štejemo za pravilno utrjeno jeklo OCR 12, z mikrostrukturo po ohlajanju sestavljeno iz karbidov in martenzita. Z oddaljenostjo od površine se delež martenzita v mikrostrukturi zmanjšuje, ker jeklo v času laserske obdelave ni bilo v homogeni gama trdni raztopini, temveč v vmesnem področju med temperaturama A_{c1} in A_{c3} .

Širina in globina raztaljene plasti sta odvisni od oddaljenosti žarišča laserskega žarka od površine materiala. Z večanjem razdalje se širina povečuje, globina pa zmanjšuje, dokler pri oddaljenosti 7 mm od žarišča do površine ne dosežemo pravilno utrjene plasti brez raztaljene cone (**slika 4**).



Slika 3: Mikrostruktura raztaljene plasti, jedkano z zlatotopko, 500 x
Figure 3: Microstructure of the melted zone, etched with aqua regia, 500 x



Slika 4: Širina in globina raztaljene plasti v odvisnosti od razdalje žarišča do površine vzorca
Figure 4: Width and depth of the melted zone in dependence of laser focus distance from the sample surface

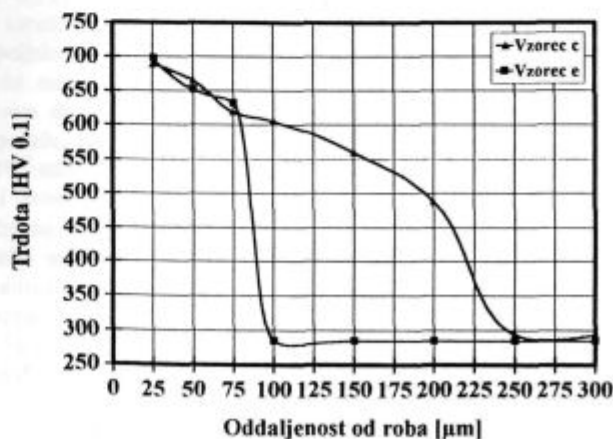
Z uporabljenim laserjem Nd-steklo lahko dosežemo pravilno utrjeno plast le do globine 80 μm in širine 750 μm , kar verjetno za široko uporabo v praksi ni dovolj (**slika 2c**). Za obdelavo preciznih in majhnih delov pa bi tudi ta globina zadoščala.

V conah, ki so bile pod vplivom laserske toplotne obdelave smo izmerili mikrotrdoto po Vickersu z obtežbo 100 gr (**slika 5**). Na vzorcih od a-d, so bile trdote v raztaljeni coni od 600-700 HV. Trdote v utrjeni coni teh vzorcev so bile od 500-550 HV. Trdota v pravilno utrjeni coni na vzorcu e, se je spreminjala od 600 - 700 HV.

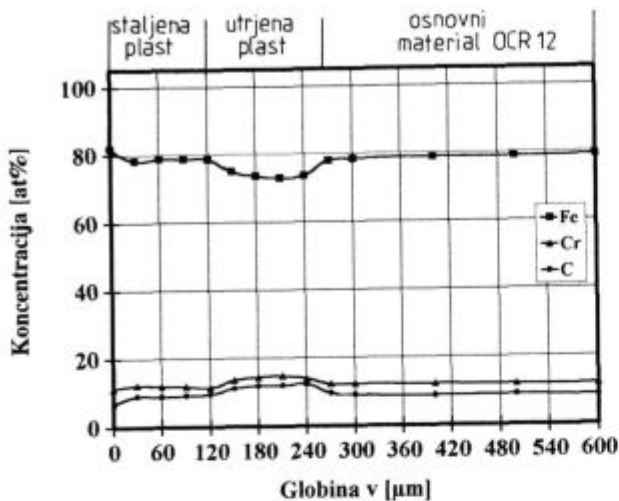
AES analiza elementov je pokazala, da je v pravilno utrjeni coni zaradi bolj drobnih in enakomerno porazdeljenih karbidnih vključkov, povišana vsebnost kroma in ogljika ter manjša vsebnost železa (**slika 6**).

4 Sklepi

S pomočjo pulzirajočega laserja Nd-steklo smo izvedli poizkuse na legiranem orodnem jeklu OCR 12 z namenom, da



Slika 5: Potek mikrotrdote na vzorcu c in e po laserski toplotni obdelavi
Figure 5: Microhardness after laser heat treatment of the c and e sample



Slika 6: AES analiza elementov na prečnem prerezu vzorca c
 Figure 6: AES analysis of elements on c cross section

bi utrdili površinsko plast. Na osnovi dobljenih rezultatov lahko zaključimo naslednje:

Osnovni pogoj za doseganje pravilno utrjene plasti so točno predpisani parametri laserske toplotne obdelave. Zato je potrebno izvesti poizkuse in definirati parametre tako, da ne pride do taljenja površine materiala. Če je bilo žarišče laser-

skega žarka na površini jekla ali oddaljeno do 5 mm, se je jeklo raztalilo in po ohlajanju smo dobili mikrostrukturno dve različni plasti: plast s strjevalno mikrostrukturno, sestavljeno iz evtektičnih karbidov, martenzita in zaostalega austenita ter pravilno utrjeno plast z mikrostrukturno po ohlajanju sestavljeno iz karbidov in martenzita. S povečevanjem razdalje med žariščem in površino obdelovanca se širina raztaljene cone povečuje, globina pa zmanjšuje, dokler pri oddaljenosti 7 mm od žarišča do površine ne dosežemo pravilno utrjene plasti brez raztaljene cone. Mikrotrdota pravilno utrjene plasti, ki ima širino 750 μm in globino 80 μm, se je gibala od 600-700 HV 0.1. Preiskave z AES analizo so pokazale, da je v utrjeni coni nekoliko povišana vsebnost kroma in ogljika.

5 Literatura

- ¹ N. Rykalin, A. Uglov, A. Kokora, *Laser machining and welding*, Pergamon Press, 1978
- ² J. H. P. C. Megaw, *Laser Surface Treatments, Laser Welding, Cutting and Surface Treatment*, The welding Institute, Abington, England, 1984, 23-27
- ³ P. Oakley, *Surface Modification - A Viable Laser Application? Proceedings of the International Conference Laser Material Processing*, Opatija 1995, 143-154
- ⁴ A. Shachrai, E. Secemski, *Surface treatment by high power lasers*, *Engineering Lasers*, 1992, Oct./Nov., 6-8
- ⁵ J. K. Lasers, *System 2000 for Welding*, Manual, 1985