

DVOJNIKOVANJE U BRODSKOM LIMU KAO POSLEDICA TRETIRANJA U MLAZU SAČME

SHOT-PEENING INDUCED TWINNING IN SHIP-BUILDING STEEL

BILJANA MATIJAŠEVIĆ¹, JOACHIM KINDER²,
NENAD RADOVIĆ¹, T. VOLKOV-HUSOVIĆ¹

¹*Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd*

²*Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung BAM, Berlin*

Primljeno: 10. 06. 2002.

IZVOD

U radu je izvršena simulacija procesa tretiranja u mlazu sačme na jednom brodskom limu. Ispitivanja mikrostrukture nakon tretmana su pokazala da pored očekivane rafinacije zrna u pojedinim zrnima dolazi i do pojave dvojnika, koji su karakteristični za uslove veoma velike brzine deformacije. Pretpostavljeno je da se razloženo kritično smicajno naprezanje za dvojnikovanje dostiže usled superponiranja udarnih talasa koje izazivaju udarci kuglica na površinu lima.

Ključne reči: mlaz sačme, brodski lim, dvojnici, velika brzina deformacije, kuglice, razloženo kritično smicajno naprezanje za dvojnikovanje.

ABSTRACT

The aim of this work to simulate a shot-peening proces and reveal the final microstructure. The latter consisted of rafinated ferritic grains, with occurrence of twins in some grains. Since the twinning occurs when a very high strain rate is applied on room temperature, a assumption has been made that due to interference of shock waves that follow the shot of each ball, a critical resolved shear stress for twinning has been reached and produced twins.

Key words: shot-peening, ship-building steel, twins, high strain rate, ball, critical resolved shear stress for twinning

UVOD

Brodski limovi se izradjuju od niskougljeničnih čelika (do 0.2tež%C) i isporučuju najčešće u toplovaljanom stanju. U cilju njihove zaštite od korozije

kojoj su u radnim uslovima konstantno izloženi, uobičajeno je tradicionalno premazivanje bojama. Pre premazivanja površina lima se mora očistiti od sloja koji je korodirao, ili sloja farbe koji se prethodno nalazio na površini lima. Obradjena površina mora biti pripremljena što kvalitetnije da bi premaz mogao što kvalitetnije da prione na površinu lima. U cilju što kvalitetnije pripreme površine, najčešće se izvodi tretman kuglicama (čeličnom sačmom) ili peskom pod velikim pritiskom.

Cilj rada je bio da se ispita mikrostruktura broskog lima nakon tretiranja u mlazu sačme.

EKSPERIMENT

Za ispitivanje je odabran konstrukcioni čelik St 37 (S 235)[1], hemijski sastav je dat u tabeli 1. Čelik je dobijen u obliku toplovaljanog broskog lima debljine 8 mm.

Tabela 1. Hemijski sastav ispitivanog čelika (mas.%)

C	Si	Mn	P	S	Al	Cr	Mo	Ni	Cu
0,156	0,018	0,545	0,007	0,010	0,049	0,012	0,001	0,001	0,021

Dimenzije lima koji je tretiran mlazom sačme je su: $100 \times 80 \times 7,5 \dots 8 \text{ mm}^3$, sa promenljivim parametrima ispitivanja pod mlazom sačme. Prema podacima brodogradilišta Meyer isporučioaca broskog lima, za čišćenje limenih tabli sačmom koriste se sredstva tipa Wheelabrator WS330 sa brzinom pražnjenja (izbacivanja) $v_a \sim 80 \text{ m/s}$. Rastojanje između otvora/izlaza i lima prema ovim podacima iznosi između 0,4 m i 1m [2].

Priprema limova za ispitivanje mlazom sačme. Pre tretiranja lima mlazom sačme na njemu je zavrtnjima pričvršćena limena traka širine oko 20 mm i debljine oko 5 mm, kako bi se pokrile površine koje ne treba da se obrade. Na taj način je omogućeno da se putem samo jednog poprečnog brušenja po limu utvrdi prvobitno stanje pre ispitivanja mlazom sačme, kao i uticaj mlaza sačme na ivičnu zonu/rub uz samu obrađenu površinu [2].

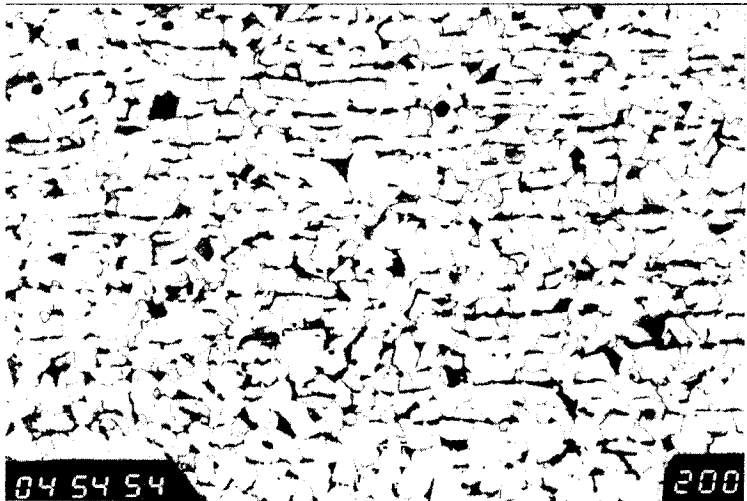
Tretman mlazom sačme izvršen je u postrojenju sa visećom trakom konstrukcije USF Schlick, tipa HB 10/12-5.2/2/7,5. Uporedni limovi su na držačima rastojanja zavrtnjima pričvršćeni za vešanje, i sa konstantnom brzinom pomaka od oko 3,3 m/min pomerani kroz komoru za ispitivanje u mlazu sačme i time kroz konusni mlaz sačme. Sredstvo koje je korišćeno u toku ispitivanja mlazom sačme je tipa Wheelabrator/Allevar ES330 i sastoji se od kaljenih čeličnih kuglica (tvrdoće oko 650 HV10) sa prosečnim prečnikom kuglice od oko 1,1 mm (sito 00). Protok pomenutog sredstva je doziran pomoću školjkastog kontrolnika na količinu od oko 130 kg/min i sa turbinom tipa Schlick-rotor-jet ubrzan do brzine pražnjenja. Turbina ima centrifugalni točak sa

prečnikom od 325 mm i pogonskom snagom od 7,5 kW. Rastojanje između otvora iz koga izlazi mlaz sačme i materijala koji se obrađuje iznosilo je oko 400 mm, a udarni ugao oko 90° u odnosu na površinu uporednih limova [2].

Varijacije u broju tretmana mlazom sačme. Prema podacima proizvođača, za čišćenje velikih tabli lima mlazom sačme koriste se postrojenja sa pokretnom trakom brzinom pomaka ispod 2 m/min - uobičajena brzina iznosi 1,1 do 1,6 m/min. Variranjem broja tretmana mlazom sačme, tako da materijal koji se obrađuje prolazi dva do deset puta kroz mlaz sredstva za sačmarenje, omogućeno je da se pri konstantnoj brzini pomaka postrojenja sa višećom trakom od oko 3,3 m/min postignu manje i efikasnije brzine pomaka. Kod dva prolaza dostignuta je brzina pomaka od oko 1,6 m/min, kod tri prolaza oko 1,1 m/min, a kod šest prolaza oko 0,5 m/min. Putem broja obrtaja turbine mogla je da se izmeni brzina pražnjenja v_a : kod 2250 U/min postignuta je brzina od $v_a = 51$ m/s, a kod 3500 U/min brzina od $v_a = 79$ m/s [2].

REZULTATI

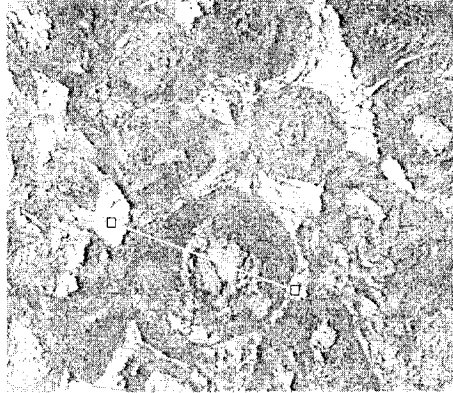
Mikrostruktura čelika S 235 pre ispitivanja u mlazu sačme je prikazana na slici 1. Mikrostruktura je perlitna, sa dominantnom feritnom strukturom. Feritna zrna su poligonalna i homogena po veličini.



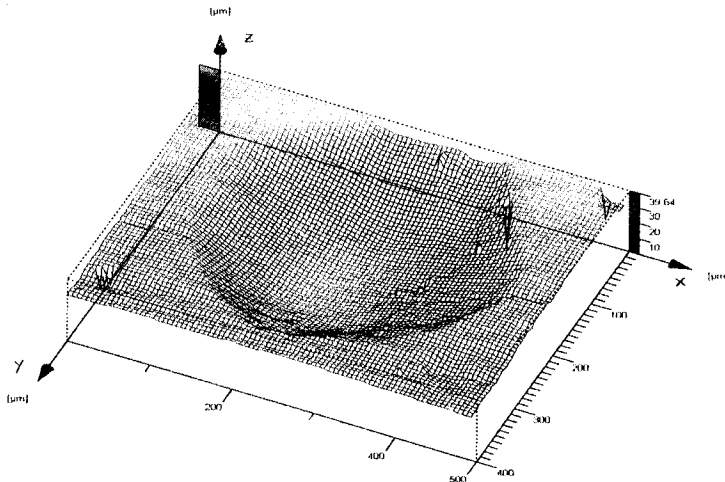
Slika 1 - Mikrostruktura čelika S 235 u polaznom toplovaljanom stanju
Figure 1 - Microstructure of as rolled steel S235

Izgled površine lima dobijene ispitivanjem mlazom sačme je dat na slici 2. Zapaža se da svaka kuglica sačme ostavlja otisak - kalotu na površini lima.

Simulacija izgleda otiska koji proizvodi kuglica na površini brodskog lima je data na slici 3.

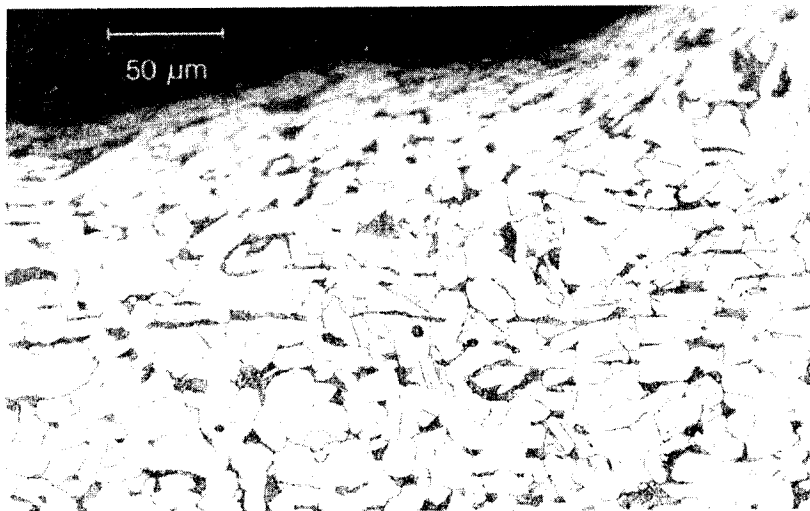


Slika 2 - SEM fotografija površine nakon ispitivanja u mlazu sačme
Figure 2 - SEM microphotography of surface after shot-peening



Slika 3 - Simulacija otiska na mestu udara kuglice
Figure 3 - Simulation of surface at shot-peened position

Mikrostruktura na mestu otiska kuglice na limu je data na slici 4. Radi sagledavanja promene strukture po debljini, mikrostruktura je ispitana na poprečnom preseku lima. Neposredno ispod površine udara, zapaža se zona sa veoma sitnim zrnom. U mikrostrukturi se takodje javlja i jedan broj dvojnikovanih zrna. Dubina sloja u kome se javljaju dvojnici je oko $200\mu\text{m}$ [2].



Slika 4 - Mikrostruktura na mestu otiska kuglice
Figure 4 - Microstructure below shot pinned surface

DISKUSIJA

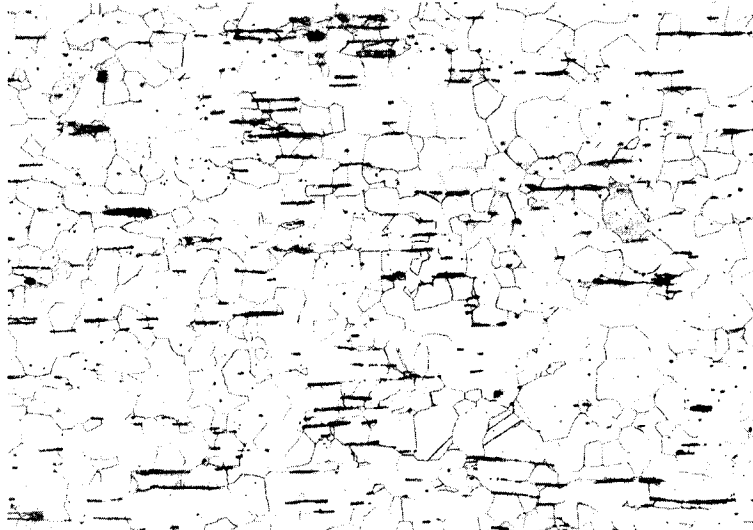
Struktura lima u polaznom stanju je feritna, sa veoma malom količinom perlita. Ona je posledica razlaganja rekristalisanog austenita, te se kao produkti reakcije očekuju samo ferit i nešto perlita. Nakon deformacije u ovoj strukturi dolazi do smanjenja veličine zrna, kao posledica deformacije mehanizmom klizanja i deformacionog ojačavanja [3].

Sa druge strane, u jednom broju zrna je uočena pojava dvojnika na dubini do 0.5 mm, što je u najmanju ruku neočekivano, ako ne i iznenadjujuće [4]. Dvojnici se stvaraju heterogeno odnosno u područjima velike koncentracije naprezanja, a to su obično mesta u rešetki koja su prethodno deformisana klizanjem. Naprezanje za klizanje je manje od naprezanja za dvojnikovanje, pa se smatra da klizanje mora da prethodi dvojnikovanju [5]. Uslovi za dvojnikovanje postaju ispunjeni, kada proces klizanja postane jako otežan, odnosno kada se u kristalu stvori veliki broj prepreka koje ometaju kretanje dislokacija. Prepreke su uglavnom usidrene dislokacije, dislokacioni spletovi ili već prisutni dvojnici. Kako se dislokacije nagomilavaju na pomenutim preprekama, u datom lokalnom području se jako povećava naprezanje rešetke. Data unutrašnja naprezanja se sabiraju sa spoljnim naprezanjem i izazivaju stvaranje dvojnika. Na mestima u rešetki gde je došlo do koncentracije naprezanja, stvaraju se klice dvojnika, s tim što se data koncentracija naprezanja razlikuje u različitim delovima kristala. Eksperimentalnim putem ne može da se dobije konstantna vrednost razloženog smicajnog naprezanja za dvojnikovanje, jer se spoljašnje naprezanje sabira sa unutrašnjim naprezanjima koja se razlikuju na različitim

mestima u kristalu [3]. Na dvojnikovanje utiču različiti metalurški faktori, kao što su temperatura, brzina deformacije, veličina zrna, tekstura, sekundarne faze, legiranje, predhodna deformacija i drugi faktori. Poznato je da svi prost-c-k metali pod dejstvom udarnog opterećenja (velika brzina deformacije) mogu da se deformišu dvojnikovanjem. Kako je brzina deformacije definisana količnikom stepena deformacije i vremena, povećanje brzine deformacije znači skraćenje vremena deformacije. Sa druge strane, time se skraćuje i vreme na raspolaganju za reakciju poprečnog klizanja.

Da bi se objasnila pojava dvojnika pri ispitivanju na sobnoj temperaturi, pretpostavljeno je usled udara dve ili više kuglica, od kojih svaka proizvodi udarne talase, može doći do do superponiranja nastalih talasa, koji su bili dovoljni da u pojedinim zrnima ferita u dubini od 0,5 mm na udaljenosti od mesta udara predju vrednost kritičnog razloženog smicajnog naprezanja za dvojnikovanje, i tako dovedu do stvaranja dvojnika, koji su bili gnezdasto raspoređeni.

Iznenaduje činjenica da pojava dvojnika usled ispitivanja vršena mlazom sačme do sada nije dovoljno obrađena u stručnoj literaturi. Nađen je samo jedan citat u literaturi [6], u kome se kod opisivanja delovanja mlaza sačme na čelik pominje mogućnost pojave mehanički indukovanih dvojnika u konstrukcionom čeliku. U ranijim ispitivanjima na čeličnim konstrukcijama (stari konstrukcioni čelici za mostove napravljeni procesom pudlovanja početkom XX veka) uočene su stalne pojave pojedinačnih gnezda dvojnika, slika 5. Prema rezultatima ovog rada predpostavlja se da potiču od postupka odstranjivanja korozije i boje mlazom sačme [4].



Slika 5 - Mikrostruktura pudlovanog čelika sa dvojnicima
Figure 5 - Microstructure of puddled steel with twins

U testovima ispitivanja u mlazu sačme brzina izbacivanja kuglica je iznosila od 51 ms^{-1} i 79 ms^{-1} , te se može smatrati da se pojava dvojnika može izbeći u slučaju korišćenja manje izlazne brzine čeličnih kuglica.

ZAKLJUČAK

U okviru ovog rada izvršeno je ispitivanje broskog lima od nisko-ugljeničnog čelika koji je deformisan velikom brzinom deformacije. U cilju što kvalitetnije pripreme površine lima, najčešće se izvodi tretman kuglicama (čeličnom sačmom) ili peskom pod velikim pritiskom, na sobnoj temperaturi. Cilj rada je bio da se ispita mikrostruktura broskog lima nakon tretiranja u mlazu sačme.

Ispitivanja mikrostrukture nakon tretmana su pokazala da pored očekivane rafinacije zrna u pojedinim zrnima dolazi i do pojave dvojnika u jednom sloju cca 0,5 mm debljine, koji su karakteristični za uslove velike brzine deformacije. Nakon tretiranja mlazom sačme uočava se nehomogena struktura broskog lima. Rezultati ukazuju da jedna uobičajena operacija u okviru korozijske zaštite plovila unosi dvojnike u strukturu čineći je nehomogenom.

ACKNOWLEDGEMENT

Eksperimentalni deo rada je urađen u Saveznom Institutu za Istraživanje i Ispitivanje materijala (Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung BAM), Berlin u Nemačkoj, u laboratorijama V.11 Metallography and Ceramography; Stereology. Autor BM se zahvaljuje na pruženoj finansijskoj pomoći BAM-u (istraživački projektu SEQUA), DAAD i IAESTE.

LITERATURA

- [1] VDEh (Hrsg.), WerkstoffkundeStahl – Band 2: Anwendung, Springer – Verlag, Berlin 1985.
- [2] D. Klingbeil, C. Klinger, W. Österle, J. Kinder, W. Baer, J. Otto, Werkstoffuntersuchungen an Vergleichensblechen und Prüfstücken aus Schiffbaustahl, BAM, Berlin, 2001.
- [3] Djordje Drobnjak, Fizička metalurgija, TMF, Beograd (1986).
- [4] J. Kinder, C. Klinger, W. Österle, D. Klingbeil Mechanisch induzierte Zwillingsbildung in Blechen aus Baustahl,
- [5] P. J. Worthington and E. Smith, Acta Met, 14 (1966) 35.
- [6] O. Vöhringer, Changes in the State of the Material by Shot Peening, in: Shot Peening-Science-Technology- Application, H. Wohlfahrt, R. Kopp, O. Vöhringer (Hrsg.), DGM Informationsgesellschaft Verlag, Oberursel 1985, 185-204.