

**Univerzitet u Zenici, METALURŠKI INSTITUT „KEMAL KAPETANOVIĆ“,
Travnička cesta br.7, Zenica, Bosna i Hercegovina**

ZBORNİK RADOVA

OKRUGLI STO

**Značaj i uloga Metalurškog instituta „Kemal Kapetanović“ Zenica
u razvoju obrazovnog i privrednog sistema BiH
povodom 50 godina postojanja i rada
Metalurškog instituta
Zenica, 25.10.2011. godine**

Zenica, 2012.godine

ZBORNİK RADOVA

OKRUGLI STO

Značaj i uloga Metalurškog instituta „Kemal Kapetanović“ Zenica
u razvoju obrazovnog i privrednog sistema u BiH
povodom 50 godina postojanja i rada
Metalurškog instituta
Zenica, 25.10.2011. godine

IZDAVAČ

Metalurški institut „Kemal Kapetanović“ Zenica, Univerzitet u Zenici

ZA IZDAVAČA

Prof.dr. Mirsada Oruč, dipl.inž.

UREDILI

Prof.dr. Mirsada Oruč, dipl.inž.

Mr. Milenko Rimac, dipl.inž.

Neira Delić, dipl.ecc.

Faik Čičak, dipl.inž.

LEKTOR

Dijana Hasanica, prof.

ŠTAMPA

PUO COPY&PRINT ZENICA

TIRAŽ

100 komada

CIP – Katalogizacija u publikaciji

Nacionalna i univerzitetska biblioteka

Bosne i Hercegovine, Sarajevo 669(063)(082)

OKRUGLI STO Značaj i uloga Metalurškog instituta "Kemal Kapetanović" Zenica u razvoju obrazovnog i privrednog sistema BiH povodom 50 godina postojanja i rada Metalurškog instituta Zenica (2011 ; Zenica)

Zbornik radova / Okrugli sto Značaj i uloga Metalurškog instituta "Kemal Kapetanović" Zenica u razvoju obrazovnog i privrednog sistema BiH povodom 50 godina postojanja i rada Metalurškog instituta Zenica, 25.10.2011. godine. – Zenica : Metalurški institut "Kemal Kapetanović", 2012.- 117 str.: ilustr.; 30 cm

Bibliografija uz svaki rad i uz tekst.

ISBN 978-9958-639-32-6

COBISS.BH-ID 19481862

SADRŽAJ

UVOD	2
Pedeset godina rada i postojanja Metalurškog instituta „Kemal Kapetanović“ Zenica, Univerziteta u Zenici, Neira Delić	4
9000 godina Metalurgije, Ilija Mamuzić	8
O TEMPORA, O MORES, Sreto Tomašević	17
Strategija razvoja materijala i tehnologija u institutu i stvaranje pretpostavki za implementaciju u preduzećima BiH, Mirsada Oruč i Milenko Rimac	23
EBSD Analitička tehnika – moćan alat za karakterizaciju metalnih materijala, Matjaž Godec	32
Mogući način ojačavanja metalnih površina, Sabahudin Ekinović	46
Razvoj mikrolegiranih čelika savremeni trendovi, Nenad Radović	56
Tržišna konkurentnost proizvoda izrađenih od novih materijala i mogućnost plasmana na inostrana tržišta, Fadil Novalić	70
Uticaj operativnih parametara korozije na stare balk kereire i neke analize vjerovatnoće mjesta najpodložnijih koroziji, Sanja Bauk i Špiro Ivošević	74
Projektovanje metalnih dijelova na procijenjenom malociklusnom zamornom vijeku, Strain Posavljak	97

UVOD

Materijal je osnova svih grana tehnike. Iako je tehnika bila jedna od najefikasnijih i najmoćnijih alata za razvoj ljudskog društva u zadnjem vijeku, iskustva iz toga perioda otkrivaju i uticaj tehničkih proizvoda i procesa na ljudsko društvo. Materijal takođe igra ključnu ulogu u troškovima životnog vijeka proizvoda, a glavni zadatak nauke i tehnike je izbor materijala za određeni proizvod, koji se temelji na osobinama, ali i cijeni proizvodnje.

Takođe, mnogo je proizvoda koji u sebi uključuju komponente od različitih materijala i svi oni zajedno moraju funkcionisati bez međusobnog narušavanja osobina.

Važna karakteristika novog prilaza nauci o materijalima je prepoznavanje važnosti strukturnih međurelacija.

Ovo se zasniva na prepoznavanju pune složenosti strukture i činjenici da osobine ovise od strukture. Navedeni prilaz materijalima prvo je upotrijebljen na polju metalurgije ali isto važi za sve druge materijale.

Metalurški institut „Kemal Kapetanović“ koji je od 2007.godine Organizaciona jedinica (O.J.) Univerziteta u Zenici, postoji još od 1961.godine, a nastao je kao potreba i podrška razvoju Željezare Zenica na području proizvodnje sirovog gvožđa, čelika i proizvoda od čelika. Bio je prava podrška razvoju novih proizvoda i tehnologija za nove čelike, neophodne za brži razvoj privrede.

Pedeset godina postojanja i rada proslavlja se u novim uslovima i novim vremenima koja nisu najpovoljnija kako za privredu tako i za društvo uopšte.

Institut se saglasno raznim dobrim i lošim periodima u društvu i privredi prilagođavao i održao, ali u nešto drugačijoj formi i ulozi.

Naime, istraživanja su bila usmjerena prema zahtjevima okruženja i svodila su se uglavnom na primijenjena istraživanja. Pored toga, zahtjevi za uvođenje sistema kvaliteta u mnoge grane privrede usmjerili su Institut na akreditaciju većeg broja svojih laboratorija, čime su usluge za privredu bile povećane, a naši rezultati ispitivanja mjerodavni za privredne subjekte.

Pored toga, niz ovlaštenja dobijenih od nadležnih institucija u državi uticao je na organizovaniji rad, opremanje, obučavanje vlastitih kadrova u cilju stvaranja bolje materijalne osnove.

Ulaskom u Univerzitet Zenica 2007.godine finansiranje i razvoj Instituta su znatno poboljšani te su omogućili, jednim dijelom usmjeravanje Instituta i na fundamentalna istraživanja u oblasti metalurgije i materijala.

Znatan i uspješan rad je Institut ostvario i na području zaštite životne i radne sredine te zagađenja vazduha i vode. Ova oblast je jako povezana sa metalurgijom i metalnom industrijom i tu Institut ima značajnu referencu.

Istraživanja na području recikliranja su takođe važan pravac daljeg razvoja i rada Instituta za cijelu BiH i regiju, posebno kada se radi o visokovrijednim metalnim materijalima.

U okviru 50 godina postojanja i rada u oktobru 2011.godine organizovan je niz manifestacija obilježavanja Dana Metalurškog instituta „Kemal Kapetanović“, a glavna svečanost uz prisustvo gostiju iz zemlje i inostranstva održana je 25.10.2011.godine.

U sklopu te svečanosti održan je Okrugli sto pod nazivom: „Značaj i uloga Metalurškog instituta „Kemal Kapetanović“ Zenica u razvoju obrazovnog i privrednog sistema BiH“.

Na okruglom stolu je prezentirano nekoliko uvodnih predavanja i 8 naučnoistraživačkih i stručnih radova koji će biti prezentirani u ovom Zborniku kao doprinos obilježavanju ove manifestacije, ali i važnim informacijama za istraživanja u oblasti metalurgije i materijala.

Zenica, decembar, 2011.godine

Direktor

PREZENTIRANI RADOVI

**PEDESET GODINA RADA I POSTOJANJA
METALURŠKOG INSTITUTA „KEMAL KAPETANOVIĆ“
ZENICA, UNIVERZITETA U ZENICI**

**FIFTY YEARS OF WORK AND EXISTENCE OF
METALLURGICAL INSTITUTE „KEMAL
KAPETANOVIĆ“ ZENICA, UNIVERSITY OF ZENICA**

Neira Delić, dipl.ecc.

Univerzitet u Zenici, Metalurški institut
„Kemal Kapetanović“ Zenica,
BiH

**PEDESET GODINA RADA I POSTOJANJA
METALURŠKOG INSTITUTA „KEMAL KAPETANOVIĆ“ ZENICA,
UNIVERZITETA U ZENICI**

**FIFTY YEARS OF WORK AND EXISTENCE
OF METALLURGICAL INSTITUTE „KEMAL KAPETANOVIĆ“ ZENICA,
UNIVERSITY OF ZENICA**

Neira Delić, dipl.ecc., Metalurški institut „Kemal Kapetanović“ Zenica, Univerziteta u Zenici

Metalurški institut "Kemal Kapetanović" Zenica djeluje kao naučnoistraživačka i istraživačko-razvojna institucija već 50 godina, a osnovan je u momentu kada je sagledano da intenzivan rast proizvodnje i zahtjevi u tehnologiji proizvodnje čelika u Željezari Zenica traže veće učešće naučnoistraživačkog rada, nego što je to bilo moguće organizovati u okviru postojećeg Odjeljenja tehničke kontrole Željezare. Na čelu sa prof. dr. Kemalom Kapetanovićem, kao zagovornikom osnivanja, 1961. godine počeo je sa radom Institut koji je imao veliku perspektivu uz velika očekivanja društvene zajednice.

Postavljanju osnovnog istraživačkog koncepta Instituta posvećena je posebna pažnja. Prevladala je orijentacija da se Institut u svom razvoju usmjeri na osposobljavanje za istraživanja aplikativnog i razvojnog karaktera za potrebe crne metalurgije, a prvenstveno Željezare Zenica. Ovaj koncept omogućavao je Institutu brže uključivanje u rješavanje problematike proizvodnje, a po orijentaciji i programu rada nije dolazio u koliziju s drugim istraživačkim centrima u bivšoj Jugoslaviji. Za ovakvo opredjeljenje Institut je imao uzore u zapadnoevropskim zemljama sa razvijenom metalurgijom.

Godinu dana nakon osnivanja, Institut je premješten u zgradu Vatrostalnog doma koja je adaptirana za tu namjenu, a koji se nalazio na sadašnjoj lokaciji Instituta.

Sredstva potrebna za adaptaciju i opremanje obezbijedena su učešćem Željezare Zenica i kreditom Saveznog fonda za naučni rad. Nakon toga prema izrađenom investicionom programu i projektnoj dokumentaciji pristupilo se postupnoj izgradnji i opremanju Instituta.

Prvobitna organizacija Instituta bila je prilagođena funkciji istraživanja, pri čemu su uspostavljena tri osnovna tipa formacije: biro, laboratorije i zavodi. U narednom periodu organizacija je usklađivana sa potrebama realizacije zahtjeva planiranih aktivnosti.

Svojim djelovanjem, Institut je izgradio veoma veliki ugled u poslovnom i političkom okruženju širom Svijeta, tako da su uspostavljeni bliži kontakti pored zemalja u Evropi i s Egiptom, Turskom, te organizacijama UNIDO-om, EEZ-om i SEV-om, što je rezultiralo konkretnim projektima i poslovnim aranžmanima. Uključivanje u niz značajnih projekata izvan BiH, te raspolaganje i korištenje savremene opreme doprinijelo je da Institut djeluje narednih godina veoma afirmativno, ne samo u bivšoj Jugoslaviji nego i u širim razmjerama. Uspostavljeni su brojni kontakti sa poznatim svjetskim institutima, što je kroz međusobne posjete takođe uticalo na podizanje ugleda Instituta. U okviru društvenih ciljeva, projekta pokrenutog od strane tadašnje Jugoslovenske države sa ciljem jačanja i afirmacijom naučnoistraživačkog rada, Institut je aktivno učestvovao od 1987. u realizaciji DC VIII (Energetika), a od 1991. godine, i u realizaciji DCV (Materijali) na kojem je djelovao kao koordinator i nosilac istraživanja u značajnim tematskim oblastima.

1980. godine pa nadalje Institut se suočava sa prvim ozbiljnijim problemima finansijske prirode. Nedovoljno sredstava i nemogućnost obezbjeđenja deviza sve više je ograničavalo potrebnu nabavku i zamjenu opreme. Perspektiva koju je Samoupravni sporazum o NIR-u trebalo da obezbijedi kroz odgovarajući rast sredstava po osnovu izdvajanja za naučnoistraživački rad nije bila obezbijeđena, što se neposredno odrazilo na poslovanje Instituta. Takođe, prestanak funkcionisanja SOUR-a RMK i gubljenje najvećeg korisnika usluga i finansijera Instituta kao i dramatično pogoršanje privredne situacije, posebno u sferi crne metalurgije u tom periodu posebno se negativno odrazio na ionako složenu situaciju u Institutu. U tom periodu pojavljuju se i drugi problemi koji usložnjavaju nastalu situaciju, kao što su: pojačana fluktuacija kvalitetnih istraživača, ograničenje nabavke stanova i način njihove raspodjele, neadekvatno nagrađivanje, neracionalna organizacija, relativno zatvaranje u okvire jednog tržišta i sl.

Naglašena potreba da se na planu organizacije Instituta otklone uočeni problemi i smanji neracionalnost tokom 1987. pokrenula je aktivnosti izmjene organizacije. Međutim, na ovaj način su samo dijelom riješeni problemi. U cilju prilagođavanja tadašnjim sistemskim zakonima (Zakon o preduzećima, Zakon o društvenom kapitalu) i zahtjevima tržišnog privređivanja Institut je 1991. godine, pokrenuo aktivnosti na konstituisanju Instituta kao dioničkog društva u mješovitoj svojini putem izdavanja internih dionica.

Težak period poslije rata 1995. godine i nadalje Institutu je donio nova iskušenja u borbi za opstanak. Ljudski resursi, kao ključni resurs naučnoistraživačke institucije su veoma oslabili zbog nemogućnosti edukacije postojećih i obezbjeđenja dolaska novih kadrova. Novo vrijeme donosi promjene koje umnogome imaju uticaja na poslovanje Instituta. Promjena društvenog uređenja, načina poslovanja odnosno prelazak sa planske na tržišnu privredu primorao je Institut da se okrene borbi za svoj opstanak. Ovo je vrijeme kada se malo mari za nauku i bilo šta – što zakon ne traži. Upravo tada je Institut pokazao svoju snagu koju je imao i pronašao put opstanka na način da osluškuje tržište i prilagođava se njegovim zahtjevima.

Iako težak period za Institut, entuzijazam i znanje znatno manjeg broja zaposlenih su usmjerili razvoj Instituta u pravcu jačanja poslovnih odnosa sa malim i srednjim preduzećima i rješavanju njihovih problema. U tom smjeru je 1997. godine donesena odluka o pokretanju projekata uvođenja sistema upravljanja kvalitetom u laboratorije Instituta prema standardu EN 45001, te izgradnje Internet čvora. Na taj način Institut ulazi u novu fazu svoga razvoja i ponovo pokazuje spremnost za nove poduhvate i prilagođavanje zahtjevima okruženja čime opravdava svrhu postojanja.

Period u poslovanju Instituta od 1998. do 2006. karakteriše podizanje uloge i značaja Instituta za privredu Bosne i Hercegovine, što je rezultiralo prvim akreditacijama laboratorija po evropskim standardima, te sve većoj zainteresovanosti malih i srednjih preduzeća za uslugama Instituta kako na prostoru Bosne i Hercegovine tako i regije. Institut u ovom periodu obnavlja svoje poslovne kontakte sa velikim sistemima: Elektprivreda, Termoelektrana i BH Steel uz nastavak skromnih ulaganja u nabavku savremenije opreme i edukacije kadrova.

Zeničko-dobojski kanton, kao vlasnik kapitala, je na Skupštini održanoj 25.09.2006. godine Odlukom broj 01-38-20048/06 preuzeo prava i obaveze osnivača nad MI „Kemal Kapetanović” Zenica te utvrdio njegov status kao Organizacione jedinice Univerziteta u Zenici u kojem statusu djeluje i danas. Ovim činom Institut se uključuje u naučnoistraživačko-obrazovnu ustanovu sa ciljem uvezivanja nauke, obrazovanja i privrede.

U periodu 2006-2011. godina Institut se uključuje u projekte finansirane od strane preduzeća, te velikih sistema uz saradnju sa drugim organizacionim jedinicama Univerziteta u Zenici čime se racionalnije koriste svi potencijali Univerziteta. Pored toga Institut se aktivno uključuje u projekte

FBiH i BiH te projekte Evropske unije kao partner ili učesnik prijavljuje se na objavljene tendere, te na taj način usmjerava pažnju na postojanje, mogućnosti i značaj ove institucije.

Politika menadžmenta se bazira na jačanju ljudskih potencijala koju provodi angažmanom većeg broja mlađih kadrova te finansiranjem postdiplomskog studija i izrade doktorskih disertacija. Institut, kao društveno odgovorna organizacija, je spreman za saradnju sa interesnim zajednicama u okruženju te aktivno učestvuje u projektima Zavoda za zapošljavanje na prihvatanju mladih kadrova za obavljanje pripravničkog staža. Starosnu strukturu postojećih kadrova na taj način prevazilazi jer spregom mladog i aktivnog kadra i znanja i iskustva starijih stvara novi prostor za razvoj misli, ideja i poslovanja. Put ka savremenom i uspješnom Institutu, odnosno vodećoj instituciji u oblasti naučnistraživačkih aktivnosti i prepoznatljivog vodiča i partnera malim i srednjim preduzećima koji će udruženim snagama raditi na jačanju inovativnosti i razvoju traženih proizvoda i usluga, Institut je upravo postavio kao svoju viziju i misiju.

2011. godina se obilježava kao značajna godina u kojoj Institut slavi pedeset godina postojanja i rada, kada se sumiraju rezultati i evociraju uspomene na dane kada je Institut nastajao i utirao put do današnjeg Instituta koji predstavlja istinsku potporu kako privrednicima tako i institucijama države na putu ka izgradnji prosperitetne države i ugodnog mjesta za življenje.

Sa sigurnošću se može reći da je Institut ostavio svoj pečat na istorijski period 1961-2011 pokazujući da je snaga znanja, volje i upornosti neminovna za razvoj društva i preduzeća.

Literatura

1. Kemal Kapetanović, Razvoj naučnoistraživačkog rada u crnoj metalurgiji Bosne i Hercegovine (prikaz i članci, Metalurški institut "Hasan Brkić" Zenica, Zenica 1971.)
2. Kemal Kapetanović, Prilog problemu organizacije istraživačkog rada Zemalja u razvoju, Metalurški institut "Hasan Brkić" Zenica, Zenica 1973.
3. Godišnji izvještaj Instituta za godine od 1961,1962,1963,...-2010, Metalurški institut "Kemal Kapetanović" Zenica, 1961,1962,1963,...-2010.
4. Informacija o stanju Instituta, Metalurški institut "Kemal Kapetanović" Zenica, Zenica, 1990.

9000 GODINA METALURGIJE

9000 YEARS OF METALLURGY

Akademik prof.dr. Ilija Mamuzić
Hrvatsko metalurško društvo, Zagreb,
R.Hrvatska

9000 YEARS OF METALLURGY

900 GODINA METALURGIJE

Akademik prof.dr. Ilija Mamuzić, Hrvatsko metalurško društvo, Zagreb, R.Hrvatska

UVOD

Za razliku od podjele povijesti čovječanstva na tri etape: divljaštvo, barbarstvo (početak - pojava glinenog proizvoda, završetak - pojava pismenosti) i civilizaciju, već više od 150 godina u arheološkoj su znanosti razvojne etape čovječanstva podijeljene na kameno, bakreno, brončano i željezno doba. To znači da su prema metalurškim proizvodima nazvane i etape čovječanstva [1]. U Tablici 1 daje se približni vremenski redosljed metalurških postupaka [2].

Bakreno i brončano doba nisu slučajno dobili taj naziv. Kao zamjena kamenu -osnovnom materijalu za izradbu oruđa i oružja, počeo se primjenjivati metal, uglavnom bakar i bronca. Ljudi su uočili metale, upoznali mnoga njihova svojstva, naučili dobivati čiste metale iz ruda (u čistom obliku u prirodi postoji samo zlato, bakar, platina i srebro) [1]. Sve je to ljudima olakšalo život i povećalo mogućnosti razvoja. Metalna oruđa su savitljiva, pa se mogu popravljati, metali i slitine se lakše obrađuju nego kamen. Nastale su metalne sjekire, bodeži, koplja, noževi i mnogi drugi proizvodi [1,3].

Tablica 1. Približni vremenski redosljed početaka metalurških postupaka [2]

Postupak	Vrijeme prije Krista (pr.Kr.)	
1. Izradba keramike	oko	10000 g.
2. Zlato: taljenje, lijevanje, kovanje	oko	7000 g.
3. Bakar: taljenje, lijevanje, kovanje	oko	7000 g.
4. Taljenje olovne rude: lijevanje olova	oko	6000 g.
5. Taljenje bakrene rude: bakar-lijevanje, kovanje	oko	5000 g.
6. Taljenje bakrene slitine (arsen, olovo) bakar (As, Pb) lijevanje, kovanje	oko	4000 g.
7. Taljenje kositra: lijevanje kositra	oko	3000 g.
8. Legiranje bakra kositrom* Bronca: lijevanje, kovanje	oko	2500 g.
9. Preradba željezne rude, kovanje čelika**	oko	1500 g.
10. Obradba bakra i cinkovih karbonata ugljikom Mesing: lijevanje, kovanje***	oko	1000 g.

* također topljenje bakra s kositeritom

** proizvodi od ljevenog željeza u Kini od 500. g.pr.Kr. u Europi oko 1400 g.n.e.

*** galenitni postupak poznat potkraj Rimskog Carstva

Cilj je članka, ukratko dati vremeplov razvitka i uspjeha metalurgije tijekom 9000 godina [4,5].

Metalurgija do propasti Rimskog carstva

Teško je dati cijeloviti prikaz razvitka metalurgije za to razdoblje. Izdvajaju se dva stupnja u razvoju svjetske (odnosno europske) metalurgije koje su imale značajan utjecaj na povijest čovječanstva

a) Metalurgija bakra i bronce

b) Metalurgija željeza

Ad. a)

Brončano doba traje od 3000-1000 g.pr.Kr. premda su prvi pokusi s bakrenom rudom bili oko 7000 g.pr.Kr. (Mala Azija), a na Bliskom istoku lijevanje bakra započelo je oko 4000 g.pr.Kr. [4]. Procijenjeno je da je u vremenu od 2800-1300 g.pr.Kr. izvađeno oko 10.000 tona bakra. Razvitak metalurgije bakra i bronce daje se na primjeru Vučedola. To je razdoblje 3000 do 2200 g.pr.Kr. [6].

Posvetivši se preradbi rudače i serijskoj (normiranoj) proizvodnji metala, unijeli su u metalurgiju bakrenog i brončanog doba sve značajne inovacije (...kupolaste peći, dvodijelne i višedijelne glinene kalupe, mijeh, legiranje itd.). Na osnovi glinenih kalupa, peći i metalurškog pribora nađenih na nekoliko lokaliteta iz različitih faza vučedolske kulture, može se rekonstruirati proces obradbe bakra u doba kasnog eneolitika. Posebice se može utvrditi da je bio poznat i ljevački zanat. Dva tipa ljevačkih peći s kupolom s lokaliteta Gradac na Vučedolu (s poluokruglim dnom i s ravnim dnom - "tava") dokazuju da se na tim mjestima ruda prerađivala do završnih proizvoda. Jednodijelni kalupi se zamjenjuju dvodijelnim, koji su izazvali korijenite promjene u metalurgiji. Potreba za rudačom je toliko porasla da se ona nije mogla jednostavno dopremiti do udaljenih radionica. Zbog toga, za dobivanje prvolijevanog poluproizvoda - uloška od bakra, dolazi do premještanja dijela populacije na rudna ležišta. Vučedolska se kultura iz svojega matičnog područja brzo proširila na veliki dio zapadnog Balkana i središnje Europe - Slika 1.



Slika 1. Karta rasprostranjenosti Vučedolske kulture [6]

Tehnika lijevanja u dvodijelne kalupe donijela je i novi tip oruđa - oružja, sjekiru s jednom oštricom i cilindričnim produžetkom za nasad drška. Više je takvih sjekira koje pripadaju pronađenim ostavama (osam ostava) ili pojedinačnim nalazima. Posebice su zanimljive ostave gdje su uz više primjeraka tog tipa sjekire nađene i lepezaste plosnate sjekire.

U početku se rabila isključivo oksidna, a u kasnijoj fazi miješa se oksidna i sulfidna rudača, ponajprije antimoski sinjevac - tetraedit . Potrebno je posebno naglasiti prednost tehnološke spoznaje uporabe te rudače. Oksidna je bakrena rudača, naime samo tanki film preko velikih ležišta sulfidnog bakra, koji su mnogo više zastupani. Upravo je primjena dvodijelnih kalupa, a time i serijska proizvodnja bakrenih predmeta, nagnala metalurge da nabavljaju velike količine bakra (riječ je o desecima kilograma - primjeri Brekinjske i Griče), i da potraže nove bogate rudnike kako bi zadovoljili proizvodnju. Budući da je oksidna rudača zbog svojih malih, nestalnih količina bila nedovoljna za takvu potražnju, moralo se prijeći na novu tehnologiju . Sulfidna rudača nije toliko bogata bakrom kao oksidna, a osim toga iziskuje i dodatne radnje kako bi se iz bakra odstranili suvišni sastojci - metali ili nemetali. Naime, treba izdvojiti sumpor, antimon, eventualno i bizmut, a ponekad olovo i cink [6].

Zato je konstrukcija peći za taljenje bila različita. Dok je peć za taljenje oksidne rudače morala biti zatvorena, pri preradbi sulfidne rudače je obrnuto. Time se upotreba sulfidne rudače prikazuje kao revolucionarna novost, a manji postotak nekih metala u bakru nije značio svjesno dodavanje radi poboljšanja svojstava slitine, već nemoć ljevača da ih odvoje. Te su nečistoće s bakrom tvorile prve slitine i donosile novu kvalitetu. Uvidjelo se da nečisti bakar ima bolja svojstva (ljevkost i tvrdoća) i nastojalo se raznim postupcima zadržati određene količine sporednih metala (arsen, antimon), koji se inače izdvajaju na nižim temperaturama od temperature topljenja bakra. Ta je spoznaja dovela do brončanog doba kada se bakru svjesno počeo dodavati kositar. Kasna faza vučedolske kulture zaposjeda rudna ležišta i živi na njima.

Vučedolska je kultura zatvorila svoj životni put od 2200 g.pr.Kr. u doba prodora trećeg seobnog vala Indoeuropļana . Treba iznovice navesti da vučedolska kultura, koja napušta bogati prostor ravnice i mijenja ga za brdske planinske krajeve, nužno mora mijenjati i svoje gospodarstvo. Ta kultura nije istisnuta ili protjerana iz svojega matičnog prostora već je zamijenila stočarstvo i poljodjelstvo mnogo unosnijim iskorištavanjem rudača i metalurgijom bakra.

Upotreba kositrene bronce nastavila se sve do danas, ali uz nadopunu sa aluminijskom, berilijumskoj i silicijevom broncom.

Ad. b)

Prvi spomen željeza – ubi ferrum nascitur, gdje nastaje željezo – i pozornica Biblije jest Mala Azija. U zakoniku babilonskog kralja Hamurabija željezo se spominje prvi put oko 1750. god. pr. Kr. Osobito su se Hetiti odlikovali znanjem proizvodnje čelika. Nakon propasti njihovog kraljevstva, oko 1200. god. pr. Kr. Pojavili su se Filistejci i Halibci kao posebno dobri kovači željeza.

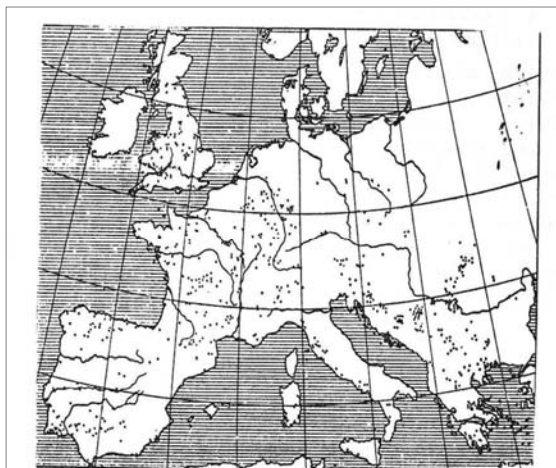
U Bibliji, prije svega u Starom zavjetu, otkrivaju se mnoga uputstva. Pokazuje se da se npr. kod Filistejaca najviše razvilo dobivanje i širenje željeza što su čuvali kao tajnu, zaštićenu strogim zakonima. Odgovarajući citati u 1 Sam 13 prate razloge njihove prevlasti, ne samo zbog njihovog naročitog (željeznog) naoružanja, nego i stoga što su željezo vješto koristili za mirnodopsko gospodarenje Izraelom. Kovači su predstavljali visoko vrednovan poziv. Pripadali su krugu ljudi kojima su vlastiti i posebno strani gospodari sumnjičavo posvećivali posebnu pažnju. Osobito česta su biblijska mjesta koja govore o svakodnevnoj upotrebi željeza. Za to je znakovito također, što je željezo izabrano da bude oznaka starozavjetnog proroka Elizeja (2. polovica stoljeća pr.Krista), « Najvažnije su potrebe ljudima za život voda i vatra, željezo i sol, brašno pšenično, mlijeko i med, sok grožđa, ulje i odijelo (Sir 39, 26).

Homer u IX knjizi Odiseje navodi kaljenje čelika - mačeva, a i ostali izvori pokazuju da se o čeliku empirijski mnogo znalo, ponajprije zbog njegove važnosti za oklope i mačeve. U zapisu nađenom u hramu Balgala (Mala Azija), a koji je vremenski iz istoga razdoblja kao i Homerova Odiseja, stoji

naputak za otvrdnjavanje čeličnih mačeva (kaljenje) "Žariti oštricu mača dok ne zasja kao Sunce koje se diže nad pustinjom, zatim ga ohladiti da postane purpurne boje, i to tako da se zabode u tijelo snažnog, mišićavog roba. Snaga roba prenosi se u mač." Taj tragični način toplinske obradbe - kaljenja mača zabadanjem u tijelo roba osiguravalo je konstantnu temperaturu kaljenja s odstupanjima manjim od $0,5^{\circ}\text{C}$ ($36-37^{\circ}\text{C}$) - temperatura čovjeka. Plastičnom preradbom - slobodnim kovanjem ti su mačevi imali i izvanrednu oštricu. Svilena marama, koja je zbog svoje težine slobodno padala na tu oštricu, rasijecala se u više odrezaka.

Što se tiče metalurgije željeza na ovim područjima, u mlađem željeznom dobu u naše krajeve prodiru Kelti. Kao izuzetni metalurzi, koji su usavršenom obradbom željeza osvojili golem prostor Europe, osnutkom Segestike, njima najznačajnijega strateškog položaja u Panoniji, orijentirali su se na proizvodnju željeza. To navodi na zaključak da se u starijem željeznom dobu već razvijala obradba željeza i trgovina njime, upravo na položaju kasnije Segestike ili negdje u blizini, te da su željezni ingoti ili gotovi proizvodi donošeni iz najbližih rudnika željeza. Takva najbliža rudišta željeza nalaze se u Trgovskoj gori. Zbog toga se smatra da su Kelti samo preuzeli i dogradili postojeći sustav. Na Osječenici i Gracu ima keltskih nalaza, pa čak i dvije keltske srebrne tetradrahme tzv. samoborskog tipa, što govori da im je tu bio važan punkt. Tako je osovina Segestika - Osječenica držala veći dio proizvodnje željeza u Panoniji. Tu, već uhodanu proizvodnju preuzimaju Rimljani, kada je 35. g.pr.Kr. Oktavian August razorio Segestiku, na temeljima na kojima je osnovano novo naselje - Siscia. Za cjelokupna trajanja rimske prevlasti u Panoniji i Sisciji, na obali Kupe rade velike radionice za proizvodnju oružja.

U doba Rimljana metalurgiji se posvećivala posebna pažnja glede potrebe za oružjem (preko 500 000 profesionalnih ratnika). Na slici 2 dat je raspored rudnika u Europi. Čak su iskorištavani i siromašni rudnici željezne rude u Dalmaciji.



Slika 2. Položaj rudnika u Europi u doba Rimskoga carstva [4]

U doba cara Galijena u Sisciji je otvorena kovnica novca. Poslije su rimski metalurzi posegnuli za ljubijskim rudnicima željeza i tada se otvara put riječnim tokovima Japre - Sane - Une - Save - Kupe. U okolici Siscije, kao velikog metalurškog centra, procjenjuje se na temelju ostataka šljuništa da su Rimljani iskorištavali više od milijun tona željezne rudače. Ona je, najčešće u obliku ingota, završavala u Sisciji, a odatle su gotovi željezni proizvodi upućivani na najznačajniju rimsku granicu, onu na Dunavu. Već i preko naziva Segestika - Siscia - Sisak može se uočiti dugi kontinuitet vezan uz preradbu željezne rudače na položaju Siska od prapovijesnih vremena, preko rimske civilizacije do danas.

Metalurgija srednjeg vijeka do danas

Nakon propasti Rimskog Carstva, prvi koraci za ponovno oživljavanje metalurgije - posebice ljevarstva - učinjeni su u 5. st. kada se kod kršćana počelo uvoditi zvono u svrhu obavljanja vjerskih obreda (engleski su opati benediktinci počeli lijevati zvona u samostanskim ljevaonicama).

Zbog sve veće potražnje, usavršava se tehnika izradbe kalupa i ljevanje kositrene bronce. U razdoblju 9.-10. st. proizvodnja zvona počela se iz Engleske naglo širiti po zemljama zapadne Europe.

Na osnovi ruševina jedne crkve iz 12. st., koja se nalazila u sklopu benediktinskog samostana "De Bella" (Bijela kraj Daruvara), može se pretpostaviti da su se i na području Hrvatske zvona počela lijevati u 11. st. Tijekom 12. st. nastavio se razvitak ljevarstva u Europi. Glede poteškoća u prijevozu velikih zvona, najprikladnije rješenje bilo je da ljevači presele svoju ljevaonicu u mjesto narudžbodavca i da tamo odliju zvono. Istodobno se na području vojnog naoružanja prelazilo na proizvodnju lijevanih topova od bronce .

Osnutak stalnih ljevaonica potpuno je razumljiv ako se ima u vidu da ta proizvodnja ne ovisi o stupnju tehnološkog razvoja gospodarstva. Potrebno je imati samo specijalizirane majstore - ljevače, mogućnost nabavke bakra i kositra, odnosno mogućnost izradbe bronce. Prema povijesnim dokumentima, u Dubrovniku su se već 1336. lijevala zvona, koja su se odlikovala po izvanrednoj izradbi i po zvukočujnosti. U Dubrovniku se topovi spominju već krajem 1351. kada je N.

Teutonicus izradio top manjega kalibra, zvan spingarda. Dubrovačka ljevaonica topova osnovana je 1410., a majstor je bio Lilio, čiji sin je 1446. za gradski zvonik u Dubrovniku odlio novo zvono od 1500 kg.

Pronalaskom baruta u Europi krajem 12. st. (u Kini u starom vijeku), ljevanje topova od bronce idućih 400 godina bilo je najrašireniji ljevarski obrt. Ljevaonica topova i zvona na Revelinu u Dubrovniku osnovana je 1463. godine. S Raba, gdje je imao ljevaonicu, došao je Ivan Rabljanin u Dubrovnik i osnovao ljevaonicu koja ubrzo postaje poznata u tadašnjem svijetu pa je Dubrovačka Republika topove koje je on lijevao prodavala u južnu Italiju i Španjolsku.

U povijesti je prepoznati slučaj turskog osvajanja Konstantinopolisa (današnji Istanbul) 1453. god.. Sultan Mehmed II naručio je od mađarskog ljevača Urbania izradu brončanog topa dužine preko 10 m, koji je ispaljivao kamene kugle promjera 90 cm. Utvrde koje su izdržale preko 1000 god. raznih napada bile su razbijene tijekom nekoliko dana.

Što se tiče proizvodnje željeza, oko 1371. g.n.e., prvi detaljni opis taljenja željeza dao je francuski nadbiskup Henry de Poitier. Sredinom 15. stoljeća prva je visoka peć konstruirana u Europi. Godine 1450. Filarete, talijanski kipar i graditelj opisao je "visoku" peć u knjizi "Trattato d'Architettura". Leonardo da Vinci dao je nacrt prve valjaonice za plastičnu preradu koja nije ostvarena u praksi. Pisane podatke o taljenju željeza pomoću drvenog ugljena dao je 1540. Vannaccio Biringcio (knjiga "De la Pirrotechnica") kao i Georg Bauer Agricola (knjiga "De re metallica" libri XII. - 1556. g.).

To su bile kamene peći visine 7 m, ložene drvenim ugljenom. Uz upuhivanje zraka mjevovima pogonjeni vodom mogla se postići temperatura i preko 1200°C. (Engleski kralj Henrik VIII je prvi 1545. god. dao odliti topove od željeza umjesto bronce i ugradio ih u prvi na svijetu bojni brod Marry Rozmary).

Procijenjeno je, da je u 15. stoljeću u Europi proizvedeno 60.000 tona željeza, od toga 30.000 u Njemačkoj, 10.000 tona u Francuskoj itd. Glede velike uporabe i sječe šuma za dobivanje drvenog ugljena, postojala je mogućnost potpune sječe, pa je ona u Engleskoj zabranjena.

Razvijen je postupak dobivanja koksa iz ugljena. Tako je već 1619. D. Dudley u Engleskoj izgradio prvu visoku peć za taljenje s posebno pripremljenim ugljenom, a 1735. je A. Darby patentirao koksiranje ugljena. Nedugo poslije James Watt 1789. god. pronalazi parni stroj što je imalo izuzetnu važnost (do kraja 19. st. parni je stroj praktično u svijetu bio jedini pogonski stroj) [1]. God. 1815. izrađena je prva željeznička tračnica, prva željeznička pruga je napravljena 1819., a tračnica je izložena i na svjetskoj izložbi u Londonu 1824. (Oblik tračnice nije se praktično izmijenio do današnjih dana). J. Nasmyth je 1840 god. konstituirao prvi parni čekić što je dovelo do procvata postupka kovanja (ranije ručno ili čekići pogonjeni vodom za izradu pancirnih košulja, oklopa, oružja itd.).

Postupak dobivanja željeza u visokoj peći dalje se usavršavao pa se ukazala potreba i konstrukcije uređaja za dobivanje čelika iz tekućeg željeza. Godine 1856. engl. inženjer G. Bessemer predložio je novi način izradbe čelika konvertorima, a postupak je usavršio O. Tomas 1878. godine. Francuski je metalurg P. Martin 1864. izradio prvu peć za taljenje i dobivanje čelika. Premda je taj proces bio sporiji i manje ekonomičan u usporedbi s konvertorskim postupkom dobivanja čelika u prvoj polovici 20. st., oko 80 % sveukupne proizvodnje čelika u svijetu bila je iz martinovskih peći (1).

Prvu konstrukciju elektro peći dao je W. Siemens 1879. (svjetska izložba u Parizu), a prva primjena je bila 1899. (Francuska, P. Heroult) 1900. god. u Italiji je patentirana izradba feroslitine (Stessano), a serijska izradba elektro peći u SAD je počela 1907. god. (Sanderson Brothers Steel Co.).

Proizvodnja čelika u svijetu imala je veliku stopu rasta do energetske krize osamdesetih godina prošlog stoljeća. 1963. god. proizvodnja je bila cca 300 Mt, a 1985. god. 800 Mt.

Od prve i druge naftne krize u razvijenim industrijskim zemljama došlo je do velikih izmjena i restrukturiranja u metalurgiji. Bilo je govora da se radi o "surovim likvidacijama" metalurgije, ali je stvarnost bila drugačija. Naime, iako je smanjenje proizvodnje u pojedinim zemljama bila i do 30 % smanjenje proizvodnje završnih proizvoda je bilo samo 7 – 9%. Komitet OECD – a naveo je i podatke da su i pored predviđenog pada proizvodnje i potrošnje čelika, njihove stagnacije, već 1987. god. ekonomski rezultati u industriji čelika u razvijenim zemljama Zapada bili pozitivni, što je rezultat prerestrukturiranja i obustave zastarjelih kapaciteta. Dokaz ovog prestrukturiranja je i podatak da je svjetska proizvodnja čelika od 798,9 Mt (1997.) porasla na 1440 Mt (2010.). Slična situacija je i pri proizvodnji mnogih metalnih materijala. Sve ovo nastalo je kao rezultat primjene znanstvenih istraživanja izravno u praksi, uz znatnu uštedu energije, smanjenje investicijskih i proizvodnih troškova. To je npr. kod proizvodnje čelika obustava u neekonomičnim Siemens – Martinovim pećima, te usavršena proizvodnja konvertorskog i elektro čelika (odnos 70 : 30%). Dok je izrada jedne taline u elektro peći trajala i nekoliko sati, danas je smanjena i traje do 40 min. I do 100% uvedeno je konti ljevanje, izvadak se povećao i iznad 92% sa brzinom ljevanja i preko 5 m/min. (prije do 1 m/min.). Od sredine sedamdesetih god. prošlog stoljeća, više se ne izrađuju stanovi za valjanje poluproizvoda: blumova, slabova, a čak i gredica. Pri tome treba istaći važni čimbenik, da je ovo radikalno restrukturiranje metalurške proizvodnje u svijetu, a koje je tražilo kredite, osigurala država sa niz olakšavajućih uvjeta gospodarenja.

Uvedeno je povezivanje više stupnjeva različitih postupaka, tj. kombiniranje dvaju ili više procesnih stupnjeva potpuno različitog karaktera. Ovo predstavlja velike promjene u proizvodnom procesu. Pri proizvodnji kovina već je uobičajeno povezivanje ljevačkog i toplovaljačkog procesa pri proizvodnji prostih profila. Za trake i limove (osobito automobilske) umjesto da se kao prije ljevaju brame koje se prevaljuju na slabove, pa platine, te na završne dimenzije, danas se izravno kontiljevaju tanke brame i jednovremeno se oblikuju deformiranjem čak i do debljine 0,8 mm.

Uvedene su moderna tehnologije CSP (Compact Strip Production), ISP (Inline Strip Production) te CPR (Casting, Pressing, Rolling). Ove navedene moderne tehnologije su zamijenile pri valjanju traka Tandemske reverzirne stanove, Steckel – valjaonica, itd. Procesno povezivanje je i na području hladnog oblikovanja tako npr. objedinjavanje vučenja i termičke obrade proizvoda od bakra, hladnog valjanja čeličnih traka sa žarenjem i dekapiranjem itd.

Što više i neki fazonski profili se proizvode konti ljevanjem. Slično je i pri proizvodnji bešavnih i šavnih cijevi (odnos 30:70%). Usavršeni su različiti postupci pa je proizvodnja od 50 Mt (1998.) porasla na preko 100 Mt (2010.). Usavršeno je kontiljevanje okruglica i šupljih cjevica. Jednako tako usavršeni su postupci MPM (Multi stand pipe mill), CPE (Crossroll piercing elongation), CPD (Crossroll piercing Diescher elongation) itd. U izradi šavnih cijevi dolazi do uporabe novih kvaliteta, kao što su austenitne, feritne itd., te su usavršeni postupci zavarivanja.

Sav ovaj razvitak novih proizvoda i tehnologija temelji se na simulacijskim metodama istraživanja. Zahvaljujući interakciji istraživačkih sustava (fizikalno simuliranje, računarsko simuliranje, fizikalno modeliranje, materijal, proces, primjena) te istraživanjima na više razina (globalna, lokalna i mikro analiza), mogu se unaprijed programirati svojstva i uvjeti pridobivanja kovina i slitina uz znatno povećanje njihovih karakteristika (čvrstoće – žilavosti, tehnoloških svojstava itd.).

Danas je osnovna karakteristika proizvodnje i prerade čelika i drugih kovina u svijetu automatizacija i vođenje pomoću procesnih računala.

Naime, velika i značajna novost proteklih godina u metalurgiji, a koja se uvodi velikom brzinom, je kompjutorska tehnika. Danas u svijetu u modernim željezarama nema segmenta gdje se ne koristi računalo u svrhu priopćavanja, ili u smislu procesnog računala. Jedinice i proizvodne linije koje nemaju procesna računala, proglašavaju se zastarjelima i skupim po troškovima i slaboj produktivnosti. U razvijenim zemljama je udio računala u vođenju metalurških procesa u proizvodnji i preradi kovina oko 90 %.

Za istaći je i veliki metalurški utjecaj proizvodnje na bruto društveni proizvod jedne države (BDP) primjer je i proizvodnja čelika u EU – 27. U 2008. god. proizvodnja čelika je bila 198 Mt, a u recesijskoj 2009. 139,0 Mt tj. smanjen je za 29,7 % .BDP u 2009. u odnosu na 2008. je bio – 3,9 %. Istodobno Kina je imala proizvodnju čelika u 2008. 500,3 Mt, a u 2009. 567,8 Mt tj. povećana je za 13,5 %. To je Kini uz ostalo osiguralo i BDP iznad 5 %.

I u 2011.god. dolazi do daljnjeg povećanja proizvodnje čelika. Tako npr: ukupna svjetska proizvodnja za 7. mjesec 2011.god. je u odnosu na 7. mjesec 2010.god. povećana 8,3 % (Europska unija – 27, 4,3 %, SAD 5,2%, Rusija 6,1 %, Kina 10,3, Južna Koreja 18,9 itd.) [7].

Umjesto zaključka

9000 god. metalurgije dokazuje da je metalurgija najstariji obrt, a tehnologije su se dugo razvijale empirijski. Mnoge pojave, koje su određivale način dobivanja ponašanja i svojstva metala otkrivene su početkom 40-ih god. prošlog stoljeća (E. Orawan i G.J. Taylor), što i pokazuje da je metalurgija jedna od najmlađih znanstvenih disciplina.

Postignuća u metalurgiji imala su jedan od najvažnijih utjecaja na cjelokupni razvitak civilizacija i dobrobit za čovječanstvo. Metalurgija je u svom vremeplovu od preko 9000 god. imala rijetke zastoje i uvijek koračala naprijed i samo naprijed, a vrijeme trajanja « željeznog doba » predviđa se još stotinama godina.

Literatura

- [1]. V.A.Kirilin, Stranicy istori nauki i tehniki Nauka, Moskva 1986. s.12,13,276,277
- [2]. H. Wubbenhorst, 5000 Jahre Gesserei, Verlag GMBH Dusseldorf 1984. s.5
- [3]. R.F.Tylecote A history of metallurgy Times Books Limited, London, 1976, p.12
- [4]. I.Mamuzić, Razvitak i postignuća tehničkih područja u Hrvatskoj Sveučilišta u Zagrebu, X-press, Zagreb, 1994, 233-259
- [5]. I.Mamuzić, Croatian Metallurgy – its Past, Present and Future, Metalurgija 43 (2004) 1,3-12
- [6]. A. Durman, Vučedolska kultura, Zbornik referata « Vučedol – treće tisućljeće p.k.) MAC, Zagreb 1988,s.13-20
- [7]. Secondo i dati pubblicati dalla World Steel Association, Metalurgia Italiana 103 (2011) 10,46-47

**O TEMPORA, O MORES
(kvalitet – izvrsnost – dizajn)**

**O TEMPORA, O MORES
(quality – excellence – design)**

Prof.dr.Sreto Tomašević

Spoljni saradnik

Univerzitet u Zenici, Metalurški institut

„Kemal Kapetanović“ Zenica,

BiH

O TEMPORA, O MORES

(QUALITY – EXCELLENCE – DESIGN)

Prof.dr. Sreto Tomašević, spoljni saradnik, Metalurški institut "Kemal Kapetanović"
Univerzitet u Zenici

"Kvalitet" je vjerovatno najfrekventnija riječ moderne civilizacije i koristi se u svim područjima života, pri čemu se njeno značenje podrazumijeva u sferi, kako materijalne, tako i nematerijalne svakodnevnice. Ako kojim slučajem pripadate skupini "misljećih" ljudi i ako ste ljubopitljivi ili pak samo radoznali, prije ili kasnije pitat ćete se kako prepoznati "kvalitet" nekog pojma o kojem razmišljate ili diskutujete, ili pišete esej, ili naprosto samo dvojite o kupovini neke vama potrebne stvari? Ljudska zajednica je potrošila dvadeseto stoljeće, pokušavajući odgovoriti na to pitanje, posebno u oblasti industrije. Tako su nastali brojni "standardi" i propisi, koji nam pomažu da u konkretnom slučaju damo kompetentnu ocjenu da li je nešto "kvalitetno" ili ne. Razvijeni su brojni obavezujući sistemi ispitivanja i provjere "kvaliteta". Svijet tehnike danas je nezamisliv bez standardnih, pa često i nestandardnih ispitivanja i materijala, i sklopova i složenih tehničkih sistema (automobili, avioni, sateliti,...). Slijedeći korak je internacionalizacija i standarda i tržišta diljem svijeta, globalizacija tržišta, finansija i znanja.

Znanje, to najveće bogatstvo svake zajednice, najsnažniji pokretač razvoja tehnike, manifestacije harmonije i uravnoteženog razvoja ljudske djelatnosti, jednako ugodno prebiva u tokovima digitalnog kompjutera i u čipovima mobitela, kao i u industrijskim robotima, svemirskim letjelicama, pa ako baš hoćete i dječijim igračkama. Ako bi u jednoj rečenici željeli objasniti put do današnjeg nivoa znanja, posebno u prirodnim naukama, onda bi mogli govoriti o tri epohe – Arhimedova fizika klasične Grčke, Newtonova fizika srednjeg vijeka i kvantna fizika modernog doba.

Einstein-ova formula $E = mc^2$

je simbol savremenog doba neprevaziđenog izražaja ljudskog prodiranja u tajne prirode. Prirodni zakoni su ljudski izumi, isto tako kao što su i duhovi ljudski izumi, zakoni logike i metafizike su također ljudski izumi. Svijet nema nikakvog drugog postojanja izvan ljudske imaginacije. Vidimo to što vidimo jer nam besmrtnici poput Mosija, Krista, Bude, Platona, Decartesa, Rousseaua, Jeffersona i Lincolna itd. to pokazuju. Vaš zdrav razum nije ništa drugo do glasovi hiljade i hiljade duhova iz prošlosti. I kada je riječ o tajnama s onu stranu teleskopa i mikroskopa i kada nas užasavaju prostori kosmosa i kada smo u dijalogu sa svijetom ili sa samim sobom i kada je predmet misli svijet ili sama misao, i kada smo u sazviježđu prirodnih nauka uvijek je prisutan prijegor da se odgonetne ista zagonetka. Odgonetajući prirodu, čovjek odgoneta samog sebe, jer je svaki naučni opit izazov svijetu.

Ovdje želim uvesti pojam dihotomije koja će mi pomoći da razumijevanje svijeta podijelim na klasično i romantično. Ovo prvo, klasično poimanje, vidi svijet primarno kao samu unutarnju formu. Romantično poimovanje vidi ga prvenstveno u smislu neposrednog izgleda. Ako pokazuješ mašinu ili tehnički crtež ili elektroničku shemu nekom romantičaru malo je vjerovatno da će on pokazati ikakvo zanimanje za to. Ne privlači ga jer stvarnost koju on vidi leži na površini. Za njega je to dosadan i zamršen popis imena, crta i brojeva. Ali ako taj isti nacrt ili shemu pokažeš nekom klasičnom umu on će pomno pogledati i ostati zadivljen jer unutar skice i simbola vidi neizmjereno bogatstvo unutarnje forme.

Romantičan način je prije svega maštovit i stvaralački, zasnovan na inspiraciji i intuiciji. Više prevladavaju osjećaji nego činjenice. Umjetnost je često romantična kad se postavlja kao suprotnost "nauci". Ona ne slijedi razum ni zakone. Ona slijedi osjećaje, intuiciju i estetsku svijest. Klasični način, naprotiv, slijedi razum i zakone koji su po sebi unutarnje forme misli i ponašanja. Premda se površinska ružnoća često nalazi u klasičnom načinu poimanja, ona ga ne prožima. Postoji klasična estetika koju romantičari često ne vide zbog njene istanućnosti. Klasičan stil je izravan, neuljepšan, bezosjećajan, ekonomičan i racionalan. Njegova svrha nije u tome da izaziva osjećaje, nego da izvlači red iz haosa i da nepoznato učini poznatim. To nije estetski slobodan i prirodan stil. On je estetski ograničen. Sve je pod kontrolom. Njegova se vrijednost mjeri u smislu vještine kojom se ta kontrola održava.

Preko naših budnih osjetila svjesni smo bezbroj stvari oko nas, ali nas se ne doimaju osim ako ne odražavaju nešto što smo unaprijed spremni primijetiti. Nemoguće nam je uočavati te stvari i sve ih pamtititi jer bi nam mozak bio tako pun nekorisnih pojedinosti da ne bismo bili sposobni misliti. Iz cijele te svjesnosti moramo biti ono što izaberemo, i nazovemo svjesnom sviješću, što nikad nije isto što i svjesnost jer se mijenja u procesu odabiranja. Mi uzimamo pregrš pijeska iz beskrajnog krajolika svjesnosti oko nas i tu pregršt nazivamo svjetlom. Kad jednom imamo pregršt pijeska taj svijet kojega smo svjesni, na njemu počinjemo raditi proces razlučivanja. Rastavljamo pijesak na dijelove. Ovo i ono. Ovdje i ondje. Crno i bijelo. Sada i onda. Razlučivanje je rastavljanje svemira svijesti na dijelove.

Utvara, koju sam cijeli život progonio je utvara racionalnosti. Ona leži u osnovama sve moderne tehnologije, sve moderne znanosti, sve zapadne misli. To je i utvara normalne svakidašnje pretpostavke koja tvrdi da konačna svrha života, tj. održavanje na životu nije moguće, ali da je to ipak konačna njegova svrha, tako je strukturirana da omogućava taj konačni cilj – kako bi život jedinke što duže trajao dok ne dosegne biblijske rezultate – 1000 godina.

Zajedničko ime međusobno povezanih struktura, rod kojemu su hijerarhija sadržavanja i struktura uzrokovanja te vrste, jest sistem. Realan sistem. Govoriti o nekim upravnim i društvenim ustanovama kao o "sistemu" znači tačno govoriti, jer te se organizacije temelje na istim strukturalno pojmovnim odnosima kao i tehnička mašina. One se oslanjaju na strukturalne odnose čak i kad izgube svaki drugi smisao i svrhu. Ljudi dolaze u tvornicu i vrše potpuno besmislene dužnosti od jutra do večeri bez pogovora jer struktura zahtijeva da tako bude. Ne postoji takav nitkov, takav podlac koji želi da oni žive besmislenim životom, nego struktura sistema, zapravo sistem zahtijeva upravo to, a nitko se ne želi prihvatiti strahovitog zadatka da mijenja strukturu samo zato što je ona besmislena.

Ali porušiti tvornicu ili pobuniti se protiv vlade ili izbjegavati popravljavanje mašine zato što se tu radi o sistemu, znači napasti posljedice umjesto uzroka; i sve dok se vrši napad samo na posljedice, nikakva promjena nije moguća. Prvi sistem, realni sistem, to je naše sadašnje građenje same systemske misli, same racionalnosti, pa ako je tvornica porušena, a racio koji ju je proizveo ostao netaknut, taj će racio jednostavno proizvesti drugu tvornicu. Ako neka revolucija uništi systemsku vladu, ali ne razori systemski obrazac misli, koji je proizveo tu vladu, taj će se obrazac ponoviti u narednoj vladi. Toliko se mnogo govori o sistemu, a tako se malo razumije. Uzmimo kao primjer automobil – to je upravo sistem izrađen od čelika. Nema u njemu dijela, nema oblika, koji nije izašao iz nečijeg uma. Poznato je da ljudi koji nikada nisu radili sa čelikom imaju poteškoća da shvate ovo - da je automobil prije svega duševna pojava. Oni povezuju kovinu sa datim oblicima – sa cijevima, šipkama, obručima, alatom, dijelovima – koji su svi stalni i nenarušivi; i o njoj prije svega fizički. Ali čovjek koji radi u livnici ili kovačnici, koji brusi ili zavaruje, ne zamišlja čelik ni u kakvu obliku. Čelik može biti u kakvom god hoćete obliku ako ste dovoljno vješti, ili u svakom drugom obliku osim onog koji hoćete ako niste vješti.

Obilici poput, recimo klackalice, motora sa unutrašnjim sagorijevanjem, predstavljaju ono do čega dolazite, ono što dajete čeliku. Svi ovi oblici izašli su iz ničijeg uma. Pa i sam čelik je izašao iz nečijeg uma. Priroda ima samo potencijal za čelik. Ničeg drugog nema (danas > 1000 vrsta).

Hijerarhija misli je zapravo sistem, a pronalaženje puta kroz te hijerarhije – logika. Dvije su vrste logike u upotrebi, induktivna i deduktivna. Induktivno izvođenje počinje promatranjem neke mašine i stiže do općih zaključaka. Npr., ako automobil naleti na rupu na putu pa zataji i to se opetuje više puta, a zatim pređe duži put bez rupa i zatezanja, logičan je zaključak da su rupe uzrok zatajenja. To je indukcija. Razmišljanje od pojedinačnih iskustava prema općim istinama. Deduktivno izvođenje je obrnuto. Ono počinje sa općim znanjem i proriče pojedinačna zapažanja. Ako npr. nakon čitanja hijerarhije činjenica o motoru, mehaničar zna da se sirena motocikla napaja iz akumulatora, onda on logično može tvrditi da sirene neće raditi ako je akumulator prazan. To je dedukcija.

Rješenje problema koji su previše složeni za običan zdrav razum postiže se dugim nizom mješovitih induktivnih i deduktivnih izvođenja što se kolebaju napred – nazad između promatranog motora i duhovne hijerarhije motora koja se nalazi u priručnicima. Tačan program za to isprepletanje formaliziran je kao znanstvena metoda.

Logični navodi se mogu podijeliti u šest kategorija: (1) opis problema, (2) pretpostavke o uzrocima problema, (3) predviđeni pokusi za ispitivanje svake pretpostavke, (4) predviđeni rezultati pokusa, (5) primijećeni rezultati pokusa i (6) zaključci prema rezultatima pokusa. Stvarna svrha znanstvene metode je osiguravanje da vas Priroda ne zavede da pomislite da znate nešto što zapravo ne znate. Nema tog mehaničara, ni naučnika koji zbog toga nije toliko propatio da ne bi instinktivno bio na oprezu. Ako postanete nemarni ili pak naučnu obavijest zaodjenete u romantično ruho ukrašavajući je tu i tamo, priroda će uskoro od vas načiniti potpunu budalu. Čovjek mora biti krajnje pažljiv i strogo logičan kad se bavi istraživanjem, jedan logičan propust i cijela znanstvena građevina se uruši kao kula od karata.

U prvom dijelu formalne znanstvenosti metode, tj. U opisu problema, glavna se vještina sastoji u tome da se ne navodi ništa više od onoga što je čovjek apsolutno siguran da zna. Mnogo je bolje unijeti navod: "Riješiti problem": zašto uređaj ne radi? Sljedeći korak je smisliti sve pretpostavke koje možete zašto "uređaj ne radi"? Zatim isplanirate pokuse kojima ćete ispitati koje su od njih istine a koje lažne. Ovaj pažljiv pristup početku pitanja čuva vas od glavnih zastranjenja koja bi vam mogla uzorokovati sedmice suvišna rada ili vas potpuno spriječiti. Znanstvena pitanja često imaju prividno glup izgled bas zbog toga razloga. Ona se postavljaju preventivno da spriječe glupe pogreške.

Treći dio, onaj formalne znanstvene metode, koja podrazumijeva izvođenje pokusa, romantičari ponekad smatraju cijelom znanošću, jer to je jedini dio koji ima mnogo vidljive površine. Oni vide mnogo uređaja i čudne opreme, te ispitivače, koji oko toga trčkaraju i nešto otkrivaju. Oni ne vide pokus kao dio većeg misaonog procesa i zato često brkaju pokuse sa demonstracijama koje slično izgledaju. Čovjek koji upravlja pseudoznanstvenom predstavom pomoću uređaja vrijednih na desetine hiljada eura ne radi ništa znanstveno ako unaprijed zna kakvi će biti rezultati njegova napora. S druge strane automehaničar koji uključuje sirenu da vidi je li ispravan akumulator neformalno izvodi pravi naučni pokus. On ispituje jednu pretpostavku postavljajući pitanje prirodi. Televizijski naučnik koji tužno mrmlja "pokus nije uspio; nismo uspjeli postići ono čemu smo se nadali" žrtva je predrasude budući da pokus nije nikad promašaj samo zato što nije dao očekivane rezultate. Pokus je promašaj samo onda kad ne uspije adekvatno ispitati pretpostavku u pitanju, kad podaci koje donese ništa ne dokazuje ni u jednom ni u drugom smislu.

Na ovom stupnju vještina se sastoji u tome da se koriste pokusi koji ispituju samo pretpostavku u pitanju, ništa više, ništa manje. Ako sirena zatrubi i mehaničar zaključi da je cijeli električni sistem ispravan, on je u velikoj nevolji. Donio je nelogičan zaključak. Zvuk sirene mu govori samo da su akumulator i sirena ispravni.

Da bi valjano planirao pokus on mora misliti veoma strogo u smislu što je čemu nepoređan uzrok. To je pravilo hijerarhije. Sirena ne pokreće motor. Ne pokreće ga ni akumulator, osim na vrlo posredan način. Mjesto na kojem električni sistem neposredno uzrokuje paljenje motora nalazi se u svjećicama, pa ako ne ispitajte njih, gdje električni sistem djeluje, nikad nećete znati da li je električni sistem uzrok kvara ili ne.

Da bi valjano ispitao, mehaničar vadi svjećicu i polaže je na motor tako da ležište oko svjećice bude električni uzemljeno i pritisne pokretač, te gleda hoće li se u zazoru svjećice pojaviti modra iskra. Ako iskre nema on može zaključiti dvije stvari: a) postoji električni kvar ili b) njegov pokus je trajav. Ako je iskusan pokušat će još nekoliko puta, provjeravajući spojeve, nastojeći se sjetiti svih mogućih načina da dobije iskru na svjećici. Zatim, ako nikako iskru ne dobije, on napokon zaključuje da je a) tačno da postoji električni kvar i pokus je završen. On je dokazao da je njegova pretpostavka tačna.

U posljednjoj kategoriji, u zaključcima, vještina se sastoji u tome da se ne zapisuje više nego što je eksperiment dokazao. On nije dokazao da će motor upaliti kad mehaničar popravi električni sistem. Možda je još nešto povareno. Ali se pouzdano zna da motor neće krenuti dok ne proradi električni sistem, pa mehaničar postavlja sljedeće formalno pitanje – riješiti problem: što je neispravno u električnom sistemu?

Onda unosi pretpostavke za taj slučaj i ispituje ih. Postavljajući prava pitanja i birajući prave pokuse i izvlačeći zaključke, mehaničar se probija kroz redove hijerarhije dok ne pronađe tačan specifičan uzrok ili uzroke neispravnosti motora, pa ih onda mijenja tako da više ne uzrokuje neispravnost.

Neupućeni promatrač vidjet će samo fizički rad i često će pomisliti da je fizički rad uglavnom sve što mehaničar čini. Daleko najveći dio njegova posla je pažljivo promatranje i tačno razmišljanje. Zbog toga mehaničari ponekad izgledaju tako šutljivi i povučeni kad izvode pokuse. Nije im drago ako s njima razgovarate jer se koncentriraju na slike u mislima, na hijerarhije i zapravo uopće ne gledaju ni vas, niti fizički motor. Oni se služe pokusom kao dijelom programa da prošire svoju hijerarhiju poznavanja neispravnog motora i uporede je sa ispravnom hijerarhijom u svojim mislima. Oni posmatraju skrivenu formu.

Veoma često se naučne ustanove nazivaju "hramovima" nauke; u tom hramu postoje mnoga prebivališta... i različiti su zaista oni koji u njima borave, kao i mitovi koji su ih tu doveli.

Mnogi se prihvaćaju nauke od radosnog osjećanja nadmoćne umne snage; nauka je njihov poseban sport gdje traže uzbudljivo iskustvo i zadovoljenje ambicije; u hramu se mogu naći mnogi ljudi koji su žrtvovali plodove svojih mozgova na tom oltaru u svrhu puke koristi. Kada bi kojim slučajem protjerali iz hrama te dvije kategorije, hram bi primjetno ostao prazniji, ali bi u njemu još ostalo naučnika iz oblasti daleke prošlosti ili pak sadašnjasti. Da su kategorije koje su prognane iz hrama bile jedine, hram bi ostao prazan i ne bi više postojao, kao što ne može postojati ni šuma u kojoj rastu samo puzavice. Oni koji su ostali u hramu su pomalo čudni, nekomunikativni, usamljeni ljudi.

Tvorba pretpostavki najtajanstvenija je od svih kategorija naučne metode. Odakle one dolaze to niko ne zna. Čovjek negdje sjedi i odjednom – bum! – razumije nešto što prije nije razumio. Dok se ne ispita, pretpostavka nije istinita, jer ispitivanje nije njen izvor. Njezin je izvor negdje drugo. Ako je svrha naučne metode da bira iz mnoštva pretpostavki, pa ako broj pretpostavki raste brže nego što

ih naučna metoda može obraditi, onda rezultati nijednog eksperimenta nisu zaključeni i onda je jasno da se sve pretpostavke nikada ne mogu ispitati.

Evolucija je pokazala da se u svakom datom trenutku od svih zamislivih tumačenja jedno jedino uvijek pokazalo nadmoćno u odnosu na ostale. Drugim riječima, naučna paradigma ima ograničen vijek trajanja, jer se uvijek novim i novim tumačenjima objašnjavaju stare činjenice. Vremenski rasponi trajnosti izgledaju posve slučajni, bez ikakvog reda. Neke naučne činjenice čini se da su trajale stoljećima, a druge kraće od godinu. Naučna istina nije nikada bila dogma, valjana za vječnost, nego samo privremeni kvantitativni bitak, koji je podložan preispitivanju. Svrha znanstvene metode je odabiranje jedinstvene istine između mnoštva pretpostavljenih istina. Time se upravo više nego ičim drugim nauka zapravo bavi.

Ako se za sve ljudsko znanje, za sve što je poznato vjeruje da predstavlja golemu hijerarhijsku strukturu, onda se visoravan duha nalazi na najvišim dosezima te strukture u najopćenitijim i najapstraktnijim od svih razmatranja. Na visoravni duha čovjek se mora prilagoditi rjeđem zraku neizvjesnosti i golemoj veličini postavljenih pitanja i odgovorima koja se predlažu za ta pitanja. Zamah ide sve dalje i dalje, očito mnogo dalje nego što duh može dosegnuti, pa čovjek oklijeva da se tamo čak i primiče od straha da će se izgubiti i nikada neće naći izlaza.

Što je istina i kako je prepoznati kad do nje stigne? Kako mi zapravo išta znamo? Postoji li ego ili duša, ako postoje što znaju, ili tu dušu čine tek moždane stanice koje upravljaju osjetilima? Da li se naša stvarnost stalno mijenja, ili je utvrđena i stalna?

Ponekad se tvrdi da ne postoji pravi napredak; da se civilizacija koja ubija mnoštva u masovnim ratovima, koja zagađuje kopna i okeane sve većim količinama otpadaka, koja uništava dostojanstvo pojedinca podvrgavajući ga prisilnoj mehaniziranoj egzistenciji – teško može nazvati napretkom u odnosu na jednostavno lovačko, skupljačko i poljoprivredno življenje u prahistorijsko doba.

**STRATEGIJA RAZVOJA MATERIJALA
I TEHNOLOGIJA U INSTITUTU I STVARANJE
PRETPOSTAVKI ZA IMPLEMENTACIJU U
PREDUZEĆIMA BiH**

**STRATEGY OF DEVELOPMENT OF MATERIALS AND
TECHNOLOGIES AT THE INSTITUTE AND CREATION
OF CONDITIONS FOR THEIR IMPLEMENTATION IN
BOSNIA AND HERZEGOVINA COMPANIES**

Prof.dr. Mirsada Oruč

Mr. Milenko Rimac

Univerzitet u Zenici, Metalurški institut

„Kemal Kapetanović“ Zenica,

BiH

**STRATEGIJA RAZVOJA MATERIJALA
I TEHNOLOGIJA U INSTITUTU I STVARANJE
PRETPOSTAVKI ZA IMPLEMENTACIJU U PREDUZEĆIMA BiH**

**STRATEGY OF DEVELOPMENT OF MATERIALS AND TECHNOLOGIES AT THE
INSTITUTE AND CREATION OF CONDITIONS FOR THEIR IMPLEMENTATION IN
BOSNIA AND HERZEGOVINA COMPANIES**

Prof.dr. Mirsada Oruč, Mr. Milenko Rimac, Metalurški institut „Kemal Kapetanović“
Univerzitet u Zenici

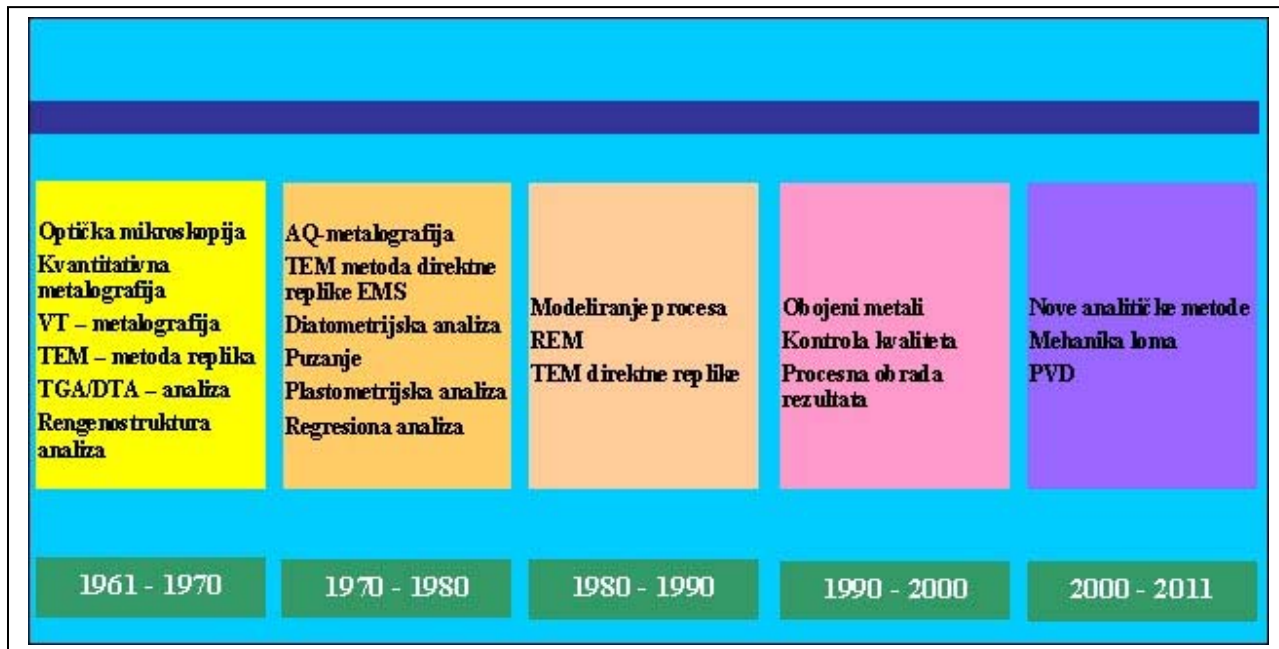
UVOD

- Industrijski razvoj moguć je samo ako za to postoje odgovarajući materijali
- Primjena novih materijala i tehnologija, spada u glavne pokretačke discipline nauke i tehnike
- Primjena novih materijala podstiče razvoj konstrukcionih proizvoda sa poboljšanim osobinama
- Pod pojmom novih materijala mogu se smatrati i materijali razvijeni vlastitim tehnologijama
- Radi se o novim materijalima sa modificiranim osobinama
- Povećanje mehaničkih osobina, osobina puzanja, radne temperature, vatrotpornosti i slično
- Konkurentnost proizvoda ostvaruje se tehnološkim racionalizacijama, zamjenom skupih elemenata, postizanjem direktnog konstrukcionog oblika, uvođenjem procesa recikliranja
- Razvijene zemlje su pokazale da se primjenom novih materijala ostvaruju vrlo značajne prednosti na tržištu
- Takva praksa i razvojna strategija prisutna je i kod referentnih svjetskih proizvođača novih materijala i razvoja tehnologija
- Zadnjih desetljeća razvoj materijala odvija se po novom obrascu-materijal kao vrijednost, a ne po klasičnom -materijal kao resurs

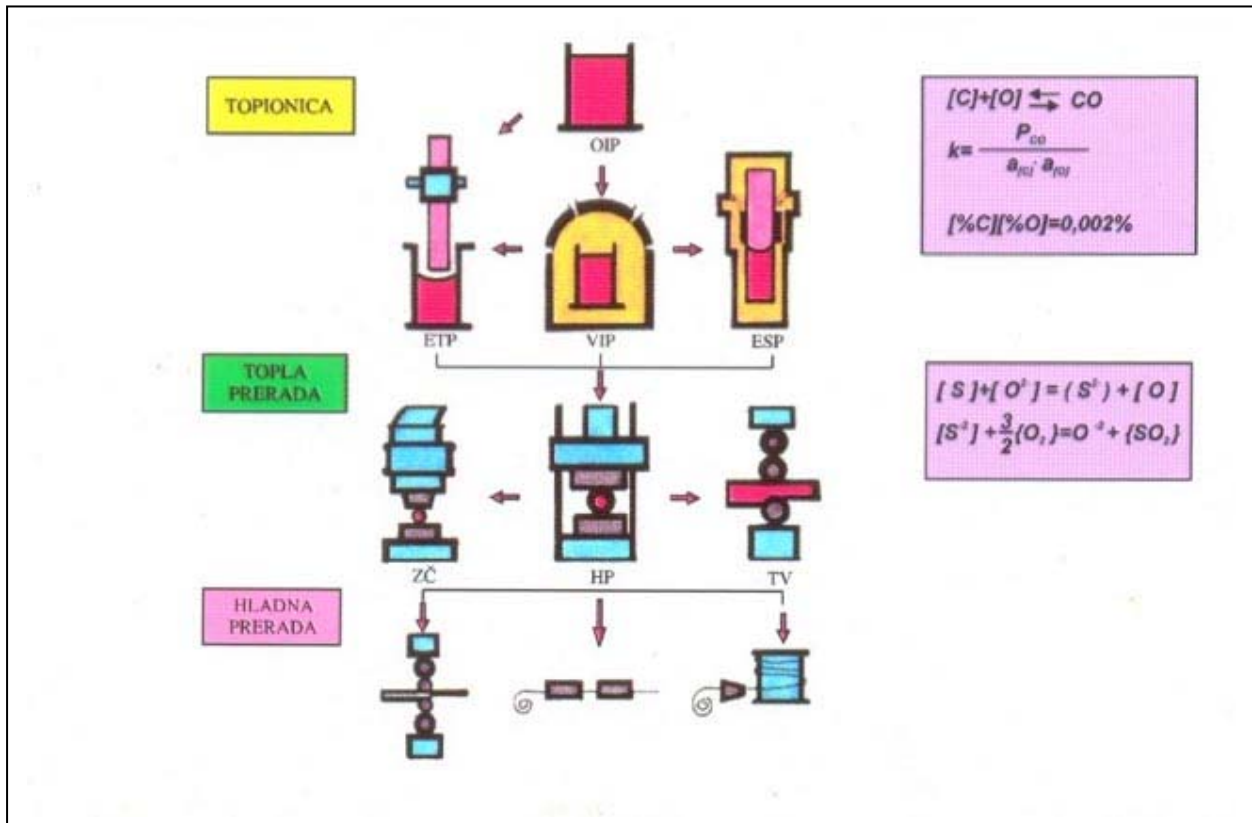
Istorija razvoja metalnih materijala u Institutu

Specijalni čelici	Specijalni čelici	Specijalni čelici	Specijalni čelici	Specijalni čelici
Nemireni i polumireni Oligoelementi u čeliku Željezničke šine Mikrolegirani sa Ti, Nb, V i Al	Corten Čelici visoke čvrstoće i žilavosti Mn-šina visoke čvrstoće Austenitni nehrđajući čelici Vučena žica visoke čvrstoće Mikrolegirana žica sa CO ₂	Visokočvrste opruge G65 Čelični kord Alatni čelici	Niskolegirani visokočvrsti	NVČ sa B i Zr
		Specijalne legure		Specijalne legure
Specijalne legure	Specijalne legure	Maragin čelici M150, M200, M250 i M300 Vatrootporne legure Praškasta metalurgija Superlegure na bazi Ni M-400, N-80A, N-90, N-105 Livene superlegure na bazi Ni Inco 713C Master legura za DC i SC Superlegura na bazi CO Haines H25	Specijalne legure	Specijalne legure
	A-čelici sa dodatkom azota F-čelici visoke plastičnosti Melomagnetne Permaloy		Specijalne legure	AV A309, A315 i A320 Superlegura na bazi Fe A286 ANČ Nitronic 60 Superlegurena bazi Ni Nimonir 80A i 90, C263 Superlegura na bazi Ni Livena Inco 713C Pametne legure ANČ sa S modificiran sa Te ANČ i FW 1 i FW 2 sa Sn
1961 - 1970	1970 - 1980	1980 - 1990	1990 - 2000	2000 - 2011

Razvoj metoda i primijenjeni postupci istraživanja i laboratorijskih ispitivanja



Tehnološki procesi izrade, prerade i termičke obrade



Materijali iz razvojnih istraživanja

- Nehrđajući austenitni čelik NITRONIC 60
- Dvofazni AM čelik 17 7 PH
- Maraging 18Ni(250) i 18Ni(300)
- Superlegura na bazi FE A286
- Superlegure na bazi Ni-N 80A, 90 i C263
- Livena INCO 713 C
- Superlegure na bazi Co HS25

Materijal	Hemijski sastav, %									
	C	Cr	Ni	Co	Mo	Mn	Ti	Al	B	N
Nitronic 60	0,09	17,5	8,5			7,5				0,015
17-7 PH	0,08	16,5	7,5			1,0		1,2		
18 Ni(250)	0,01		18,0	8,5	5,0		0,55	0,10		0,010
18Ni(300)	0,01		18,5	9,0	5,0		0,7	0,12		0,012
A 286	0,04	15,0	25,5		1,25	1,5	2,10	0,25	0,003	
Nimonic 80A	0,08	20,0	Ost.			0,8	2,5	1,5		
Nimonic 90	0,09	20,0	Ost.	18,0			2,5	1,5		
Inco 713C	0,12	13,5	Ost.		4,5		0,9	6,0		

Materijali	Stanje	Rp0,2, MPa	Rm, MPa	A5, %	Struktura
Nitronic 60	Vučena žica	395	750	65	A+K
17-7	Hladno valjana ojačana traka	1300	1420	10	A+M+K+ γ'
18 Ni(250)	Otkovak staren	1910	1960	11	Ni _M + γ' +K
18Ni(300)	Otkovak staren	1950	2050	10	Ni _M + γ' +K
A 286	Hladno valjana ojačana traka	-	1250	20	A+ γ' +K
Nimonic 80A	Vruće valjana šipka	620	1100	40	A+ γ' +K
Nimonic 90	Vruće valjana šipka	800	1200	35	A+ γ' +K
Inco 713C	Livena predlegura	755	1110	30	A+ γ' +K

Neke važne pretpostavke za istraživanje i razvoj:

- Razvijena svijest o važnosti materijala,
- Savremena istraživačka i eksperimentalna oprema,
- Funkcionalna organizacija naučnoistraživačkog rada,
- Ulaganja,
- Regionalno povezivanje i podjela oblasti istraživanja.

Karakteristike razvoja:

- Nove analitičke metode i savremeni laboratorijski uređaji
- Računske simulacije za kreiranje materijala,
- Projektovanje materijala (dizajniranje) sastava, strukture i osobina,
- Oblikovanje na konačni oblik.

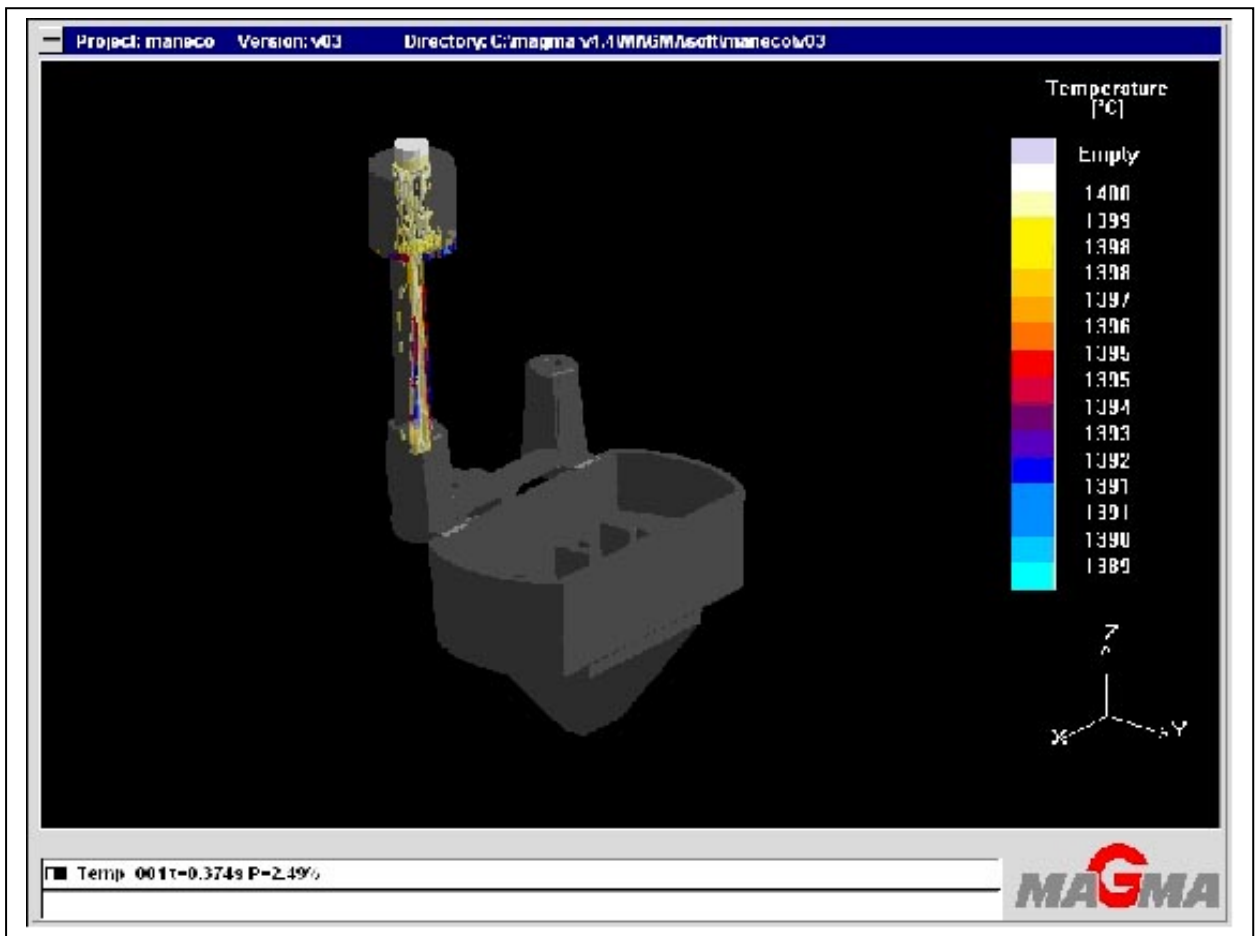
MATERIJALI

- Nove vrste specijalnih visokočvrstih čelika (Maraging, austenitni nehrđajući i vodootporni, PH-dupleks čelici),
- Specijalne i superlegure na bazi željeza, nikla, kobalta i titana,
- Intermetalni spojevi (Ni₃Al+B, Ni₃Al+Y),
- Kompozitni materijali
- Mekomagnetne legure i tvrdi trajni magneti,
- Amorfni materijali,
- Platinirani dvoslojni materijali,
- Pametni materijali,
- Metalni prahovi.

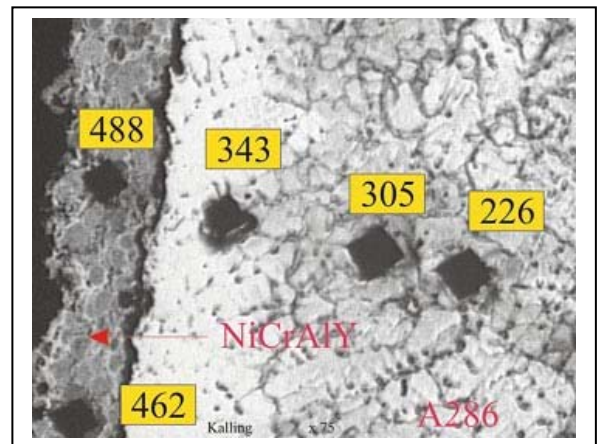
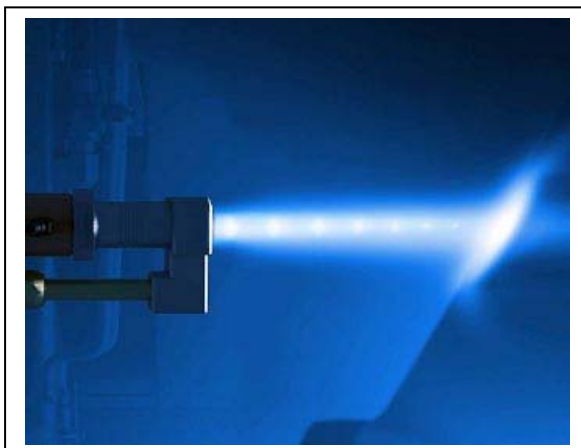
POSTUPCI I TEHNOLOGIJE

- Računarsko modeliranje i simulacije,
- Računarsko upravljanje procesima,
- Moderni postupci topljenja,
- Ultra brzo stvrdnjavanje (RS),
- Savremeni termo-deformacioni postupci prerade
- Hladno kovanje, ekstrudiranje i hladnog rotaciono valjenje,
- Oblikovanje u konačni oblik,
- Precizni i gravitacioni liv i livenje pod pritiskom,
- Tehnologije recikliranja visokovrijednih metalnih materijala,
- Nove tehnologije obrade površina nanošenjem prevlaka,
- Moderni postupci mehaničke obrade (bijeli sloj),
- Postupci spajanja materijala.

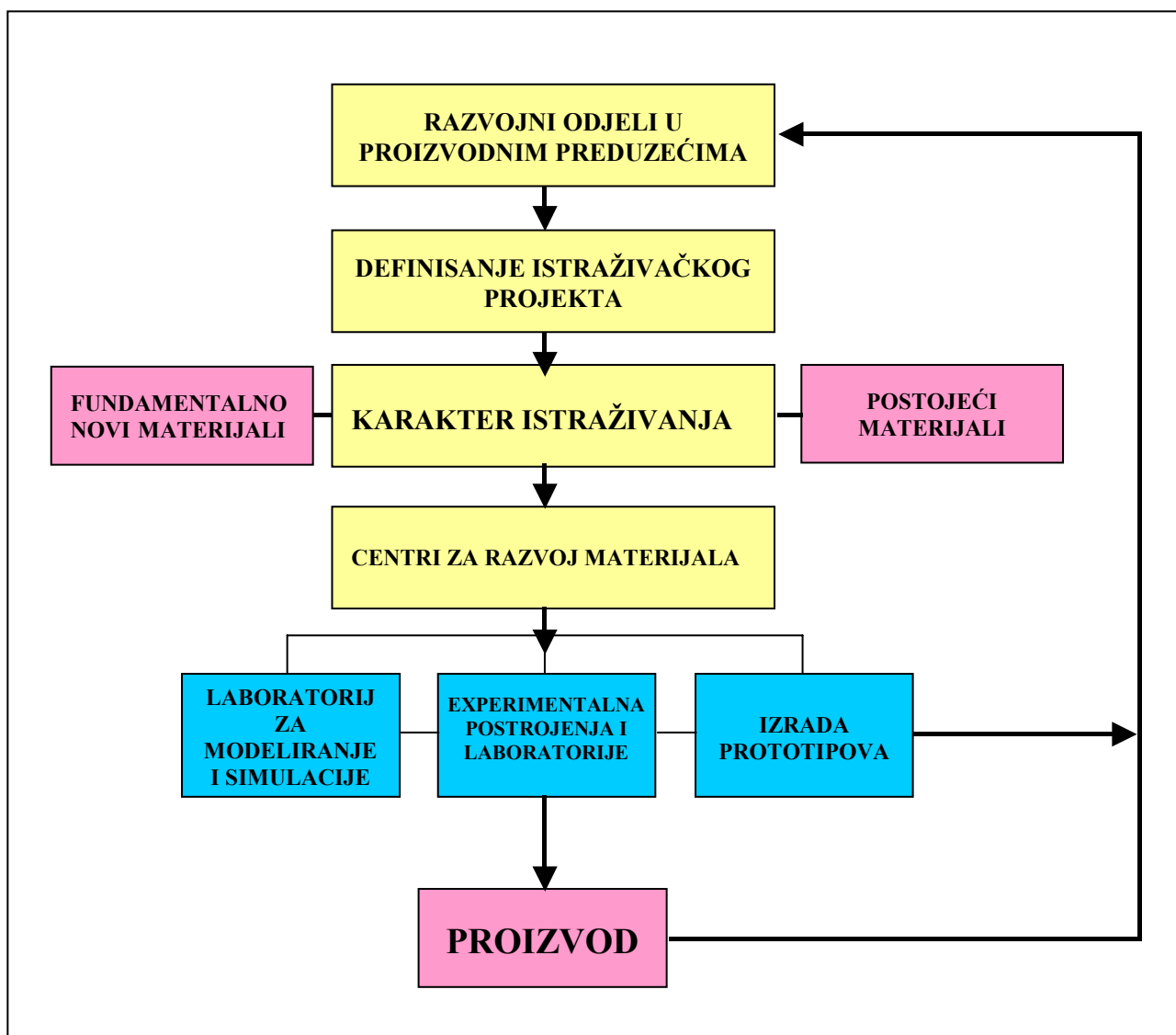
Simulacija procesa livenja



Diamond Jet tehnologija



Shema rada centra



REZIME

U radu su date procjene i mogućnosti za razvoj novih materijala i tehnologija u FBiH i BiH. Definirani su materijali i tehnologije za koje se procjenjuje da će naći primjenu u narednom periodu. Takođe je predložen koncept multidisciplinarnih istraživačko razvojnih aktivnosti, kao i procjena dinamike realizacije.

Procjenjuje se da koncept razvoja novih materijala i tehnologija u FBiH objektivno ima šansu i zbog činjenice da se može ravnopravno uključiti u regionalni razvojni koncept u ovoj oblasti.

**EBSD ANALITIČKA TEHNIKA – MOĆAN ALAT ZA
KARAKTERIZACIJU METALNIH
MATERIJALA**

**EBSD ANALYTICAL TECHNIQUE – POWERFUL TOOL
FOR THE CHARACTERISATION OF METALLIC
MATERIALS**

Prof.dr. Matjaž Godec

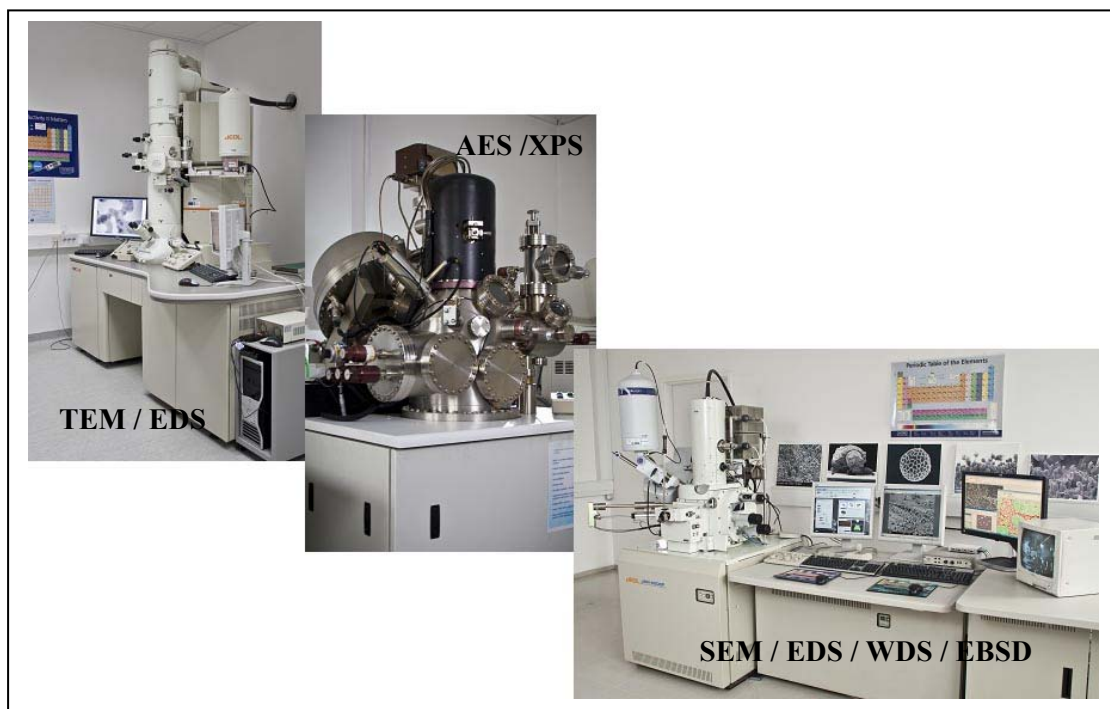
Inštitut za kovinske materiale in tehnologije, Ljubljana,
R.Slovenija

EBSA ANALITIČKA TEHNIKA – MOĆAN ALAT ZA KARAKTERIZACIJU METALNIH MATERIJALA

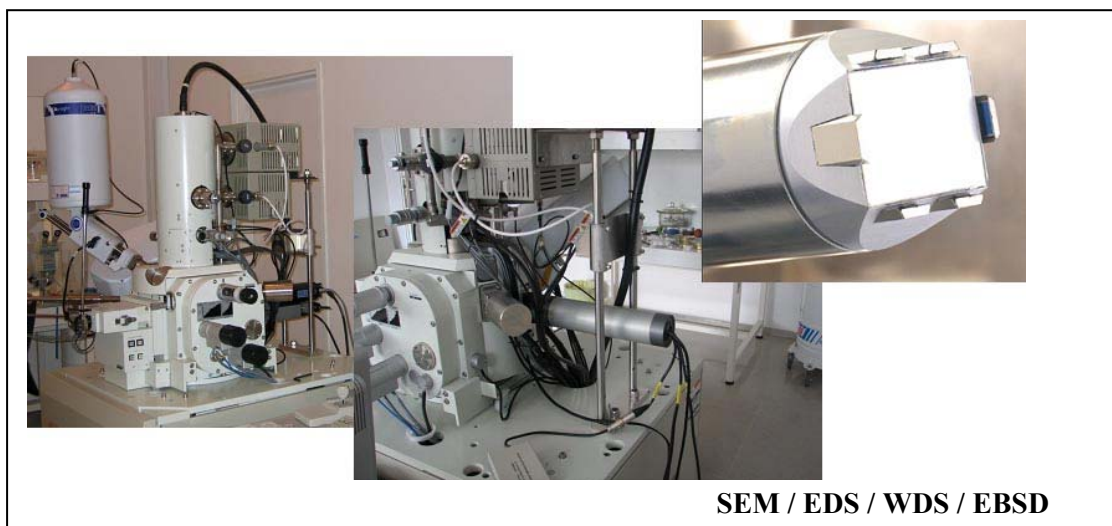
EBSA ANALYTICAL TECHNIQUE – POWERFUL TOOL FOR THE CHARACTERISATION OF METALLIC MATERIALS

Prof.dr. Matjaž Godec, Inštitut za kovinske materiale in tehnologije, Ljubljana, R.Slovenija

Karakterizacija materijala



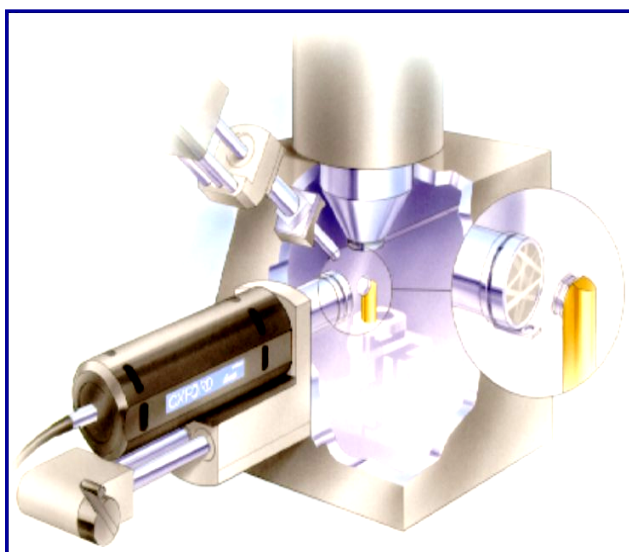
EBSA kamera Nordlys II S i kompjuterski program HKL premium



Osnove EBSD

- Uzorak nagnut 70 stupnjeva
- Fosfor zaslon
- CCD video kamera
- Vakuum sučelje
- Elektronički hardver
- Detektor naprijed raspršenih elektrona

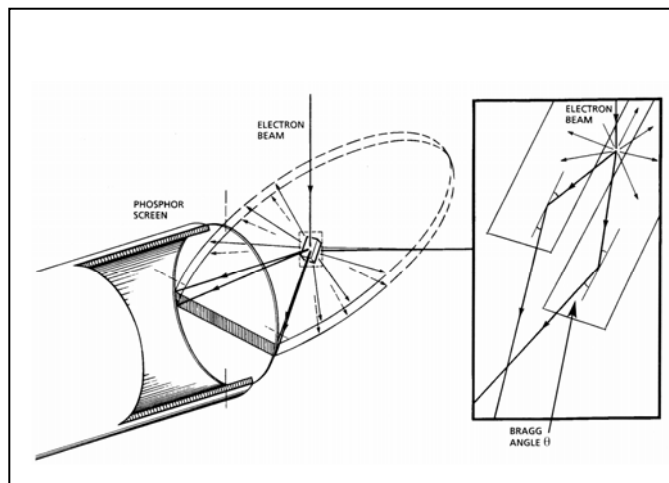
Komponente sustava EBSD



SEM / EDS / WDS / EBSD

Osnove EBSD

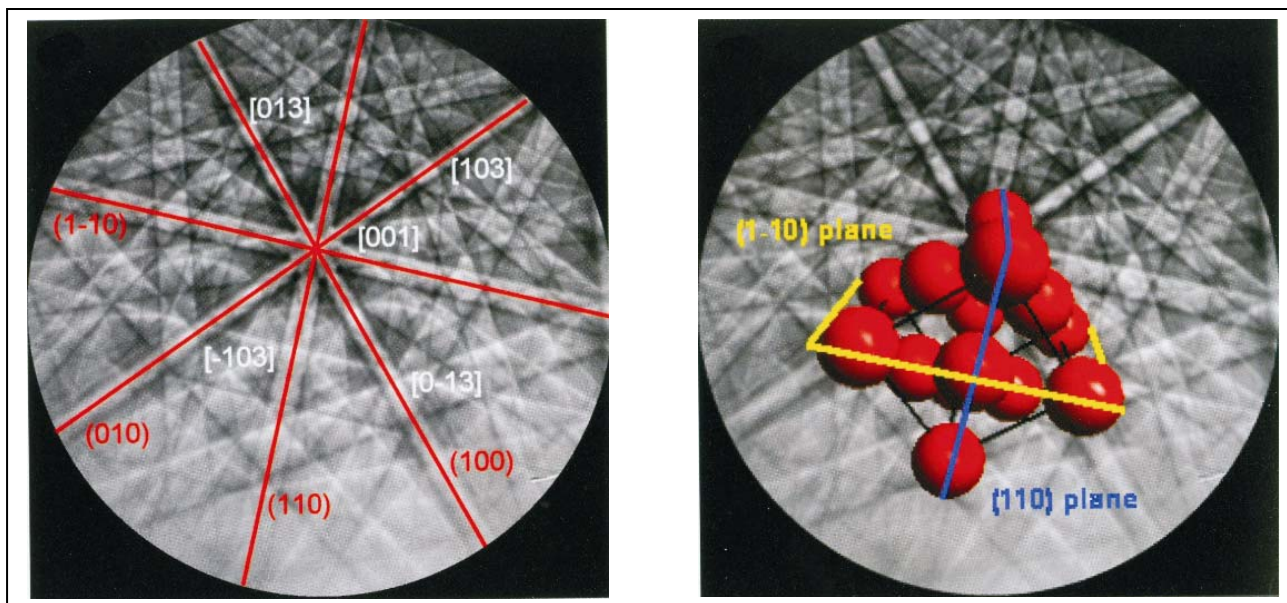
- Snop elektrona je usmjeren na nagnuti kristalni uzorak u SEM
- Atomi u materijalu neelastično rasprše dio elektrona i tvore divergentni izvor elektrona
- Neki od tih elektrona udaraju u atomske ravnine pod kutom koji zadovoljava Bragg-ovu jednadžbu
- Ti elektroni su raspršeni i formiraju parove velikih kutnih zona gdje svaka zona pripada jednoj ravnini



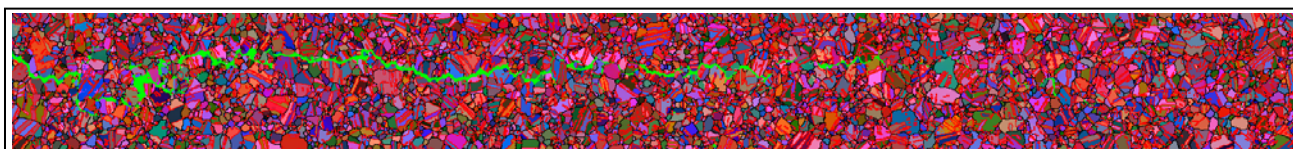
SEM / EDS / WDS / EBSD

Osnove EBSD

- Svaka Kukchi linija predstavlja određene kristalne ravnine i presjek tih linija predstavlja zonu osi
- Iz kutnih ovisnosti je moguće precizno definirati kristalnu rešetku i njenu prostornu orijentaciju

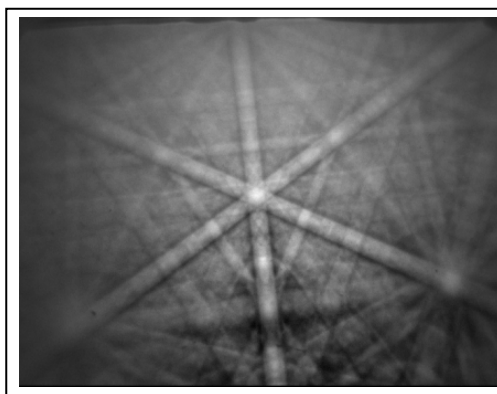


EBSD



Industrija

- Proizvodnja čelika
- Zrakoplovna industrija
- Nuklearna industrija
- Automobilska industrija
- Mikroelektronika
- Geologija ...



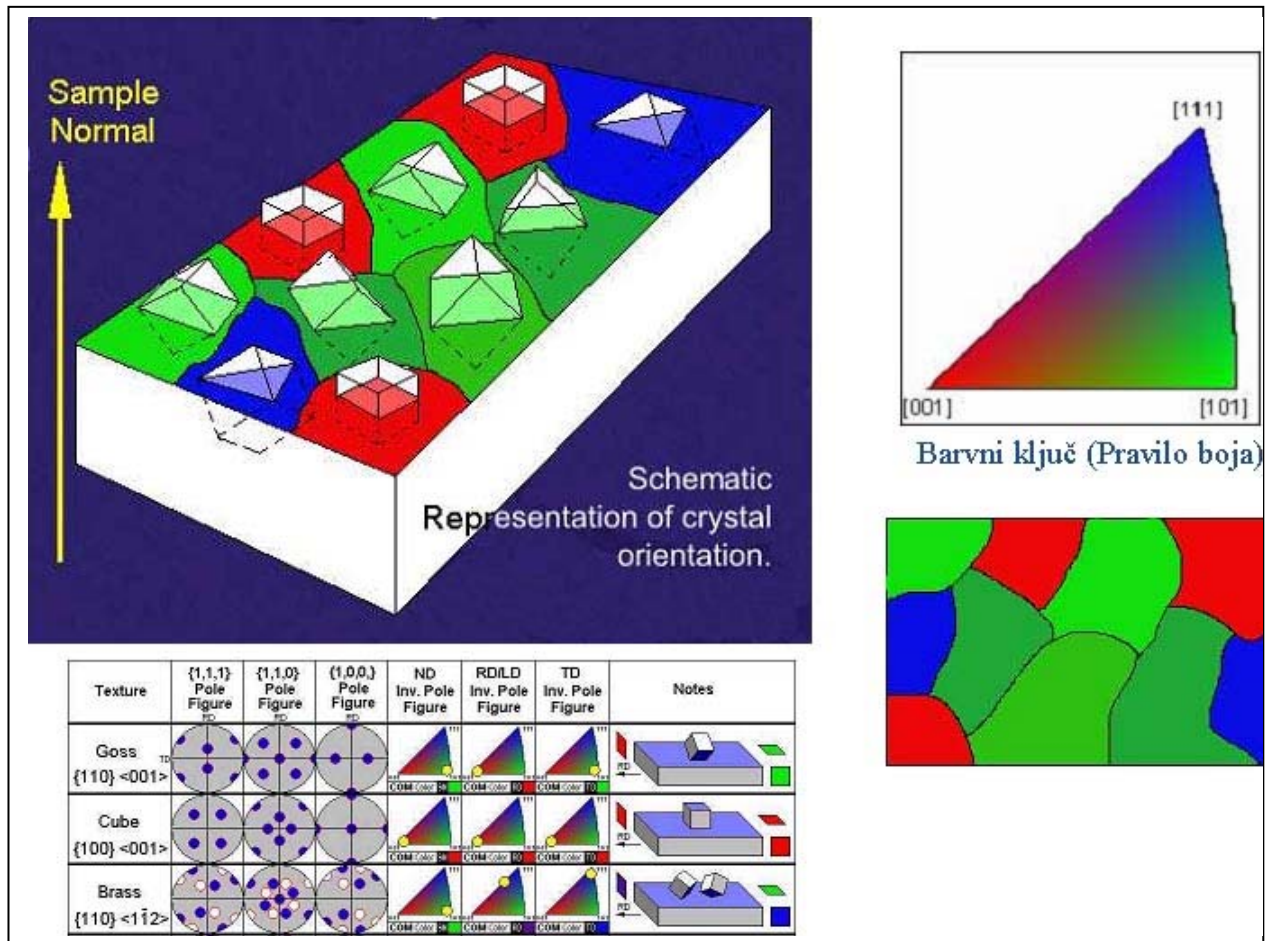
Materijali

- Metalni, legure
- Intermetalne faze
- Keramika
- Tanki filmovi
- Geološki minerali
- Poluprovodnici
- Superprovodnici ...

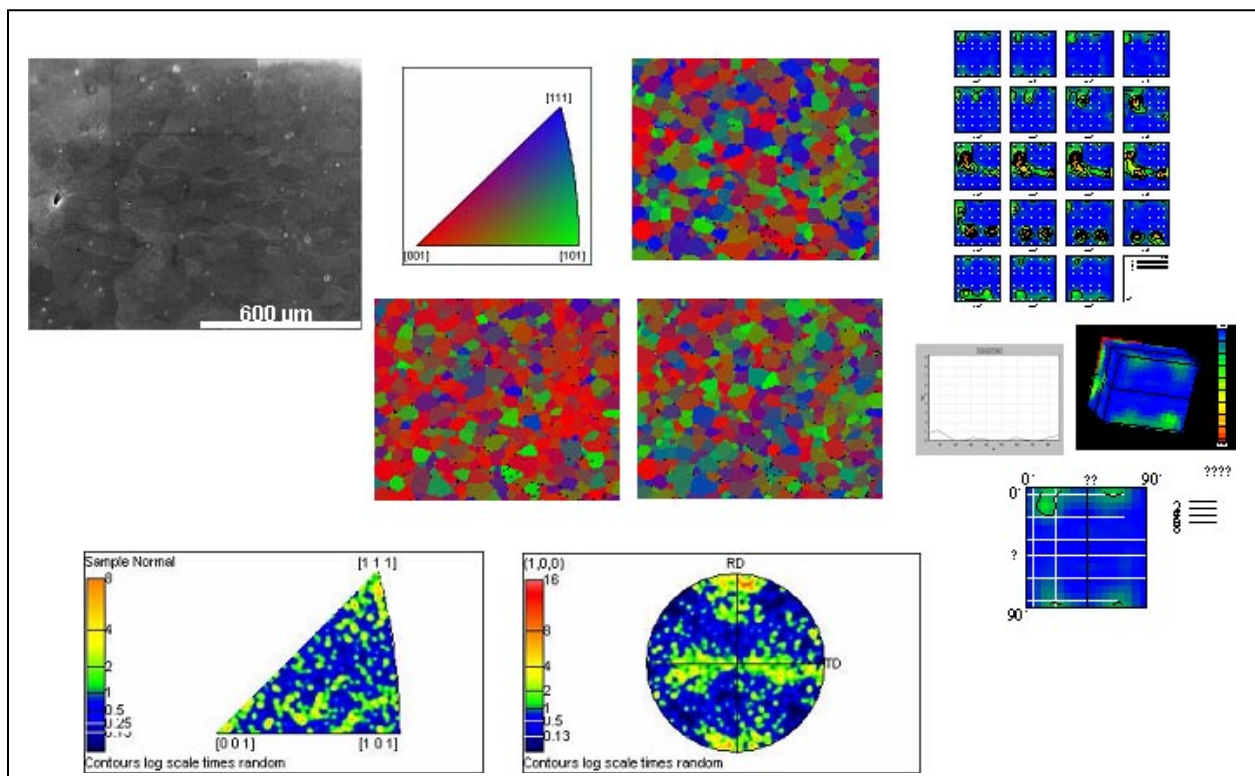
Tipična mjerenja

- Veličina zrna
- Globalna tekstura
- Lokalna tekstura
- Rekristalizacija / udio deformirane faze
- Substrukturna analiza
- Analiza naprezanja / deformacije
- Karakterizacija granica
- Raspored CSL granica
- Fazna identifikacija
- Raspodjela faza
- Fazne transformacije
- Analiza problema

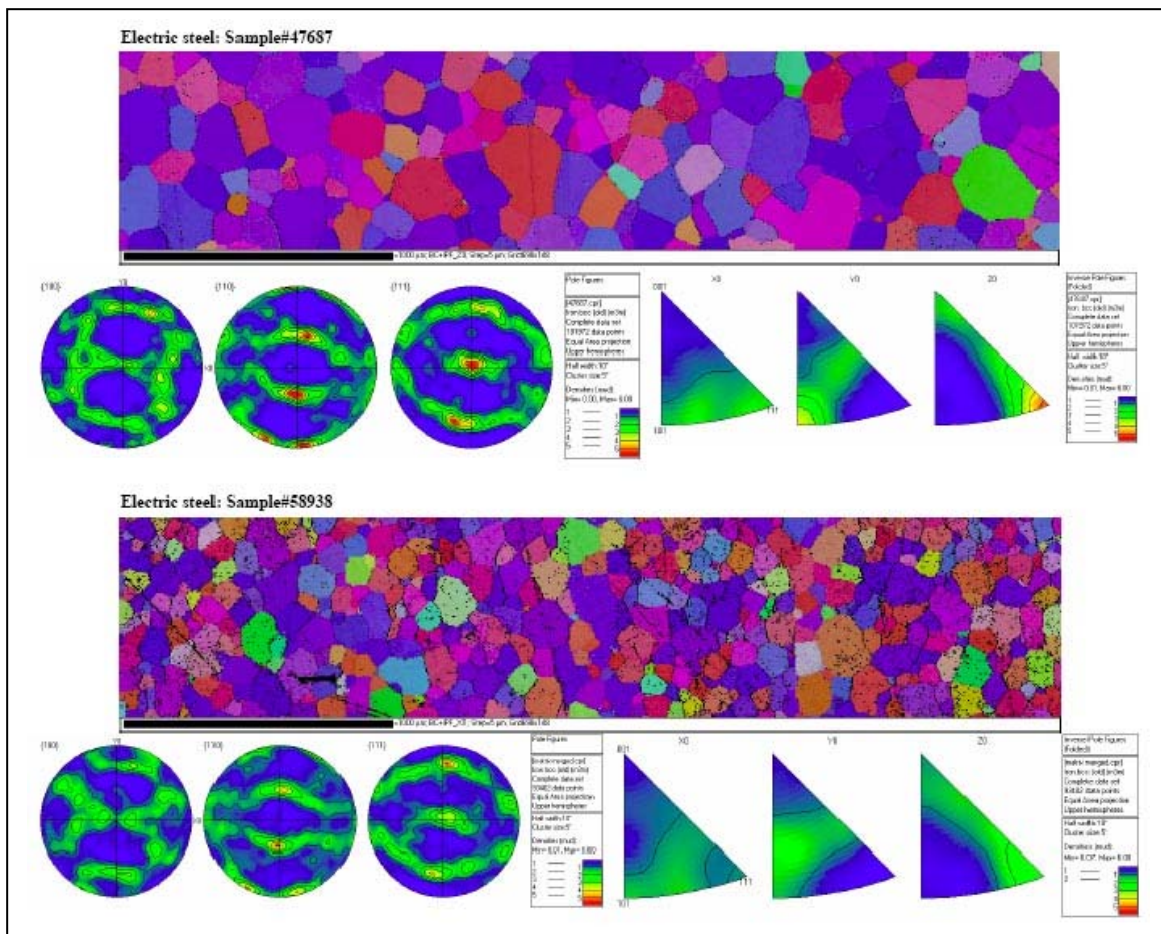
EBSD – tekstura



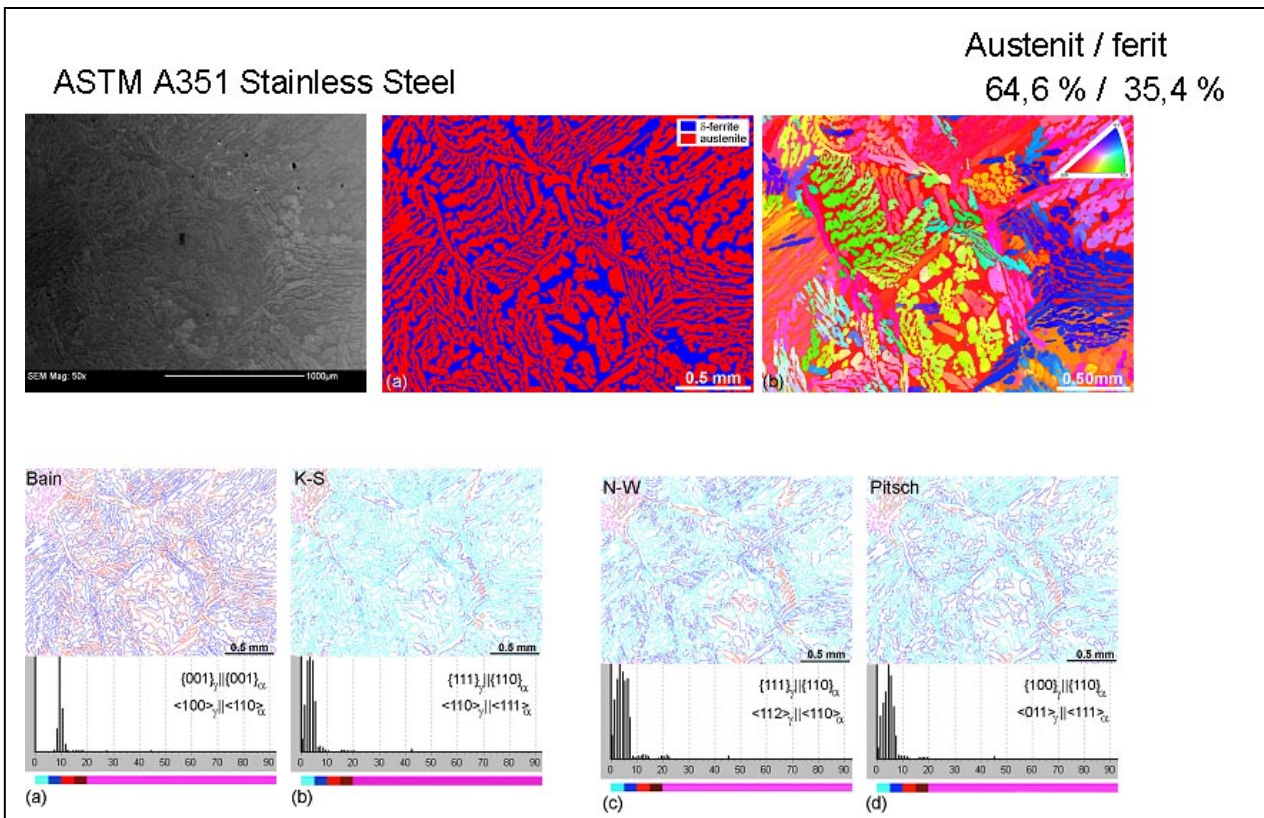
EBSD – tekstura



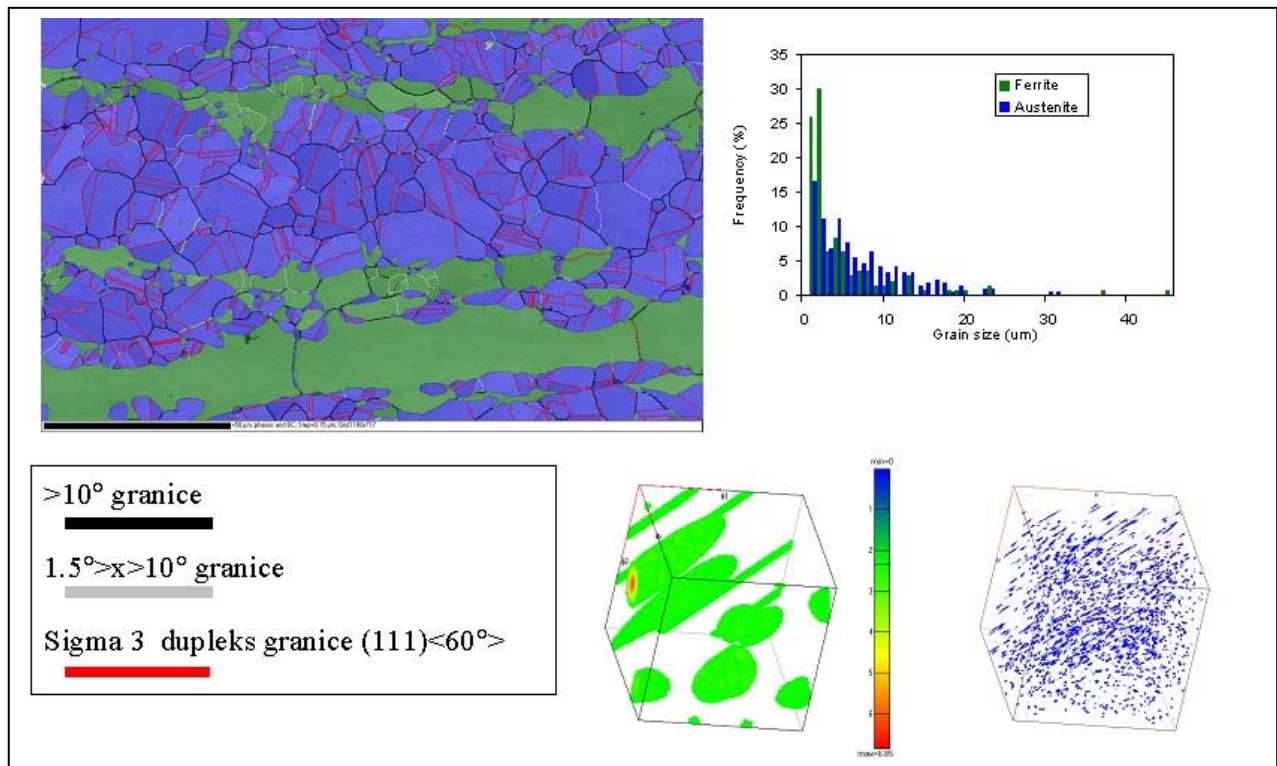
EBSD – tekstura



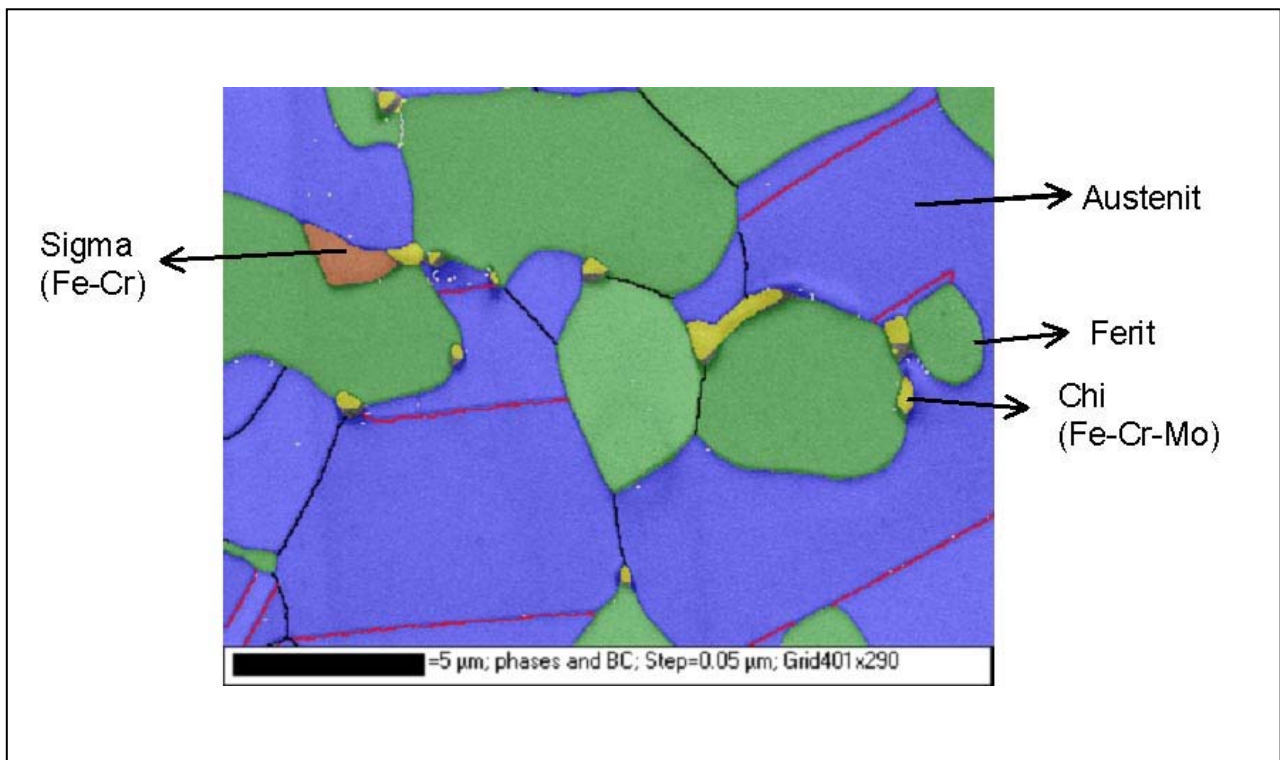
EBSD – Fazna analiza, analiza granica



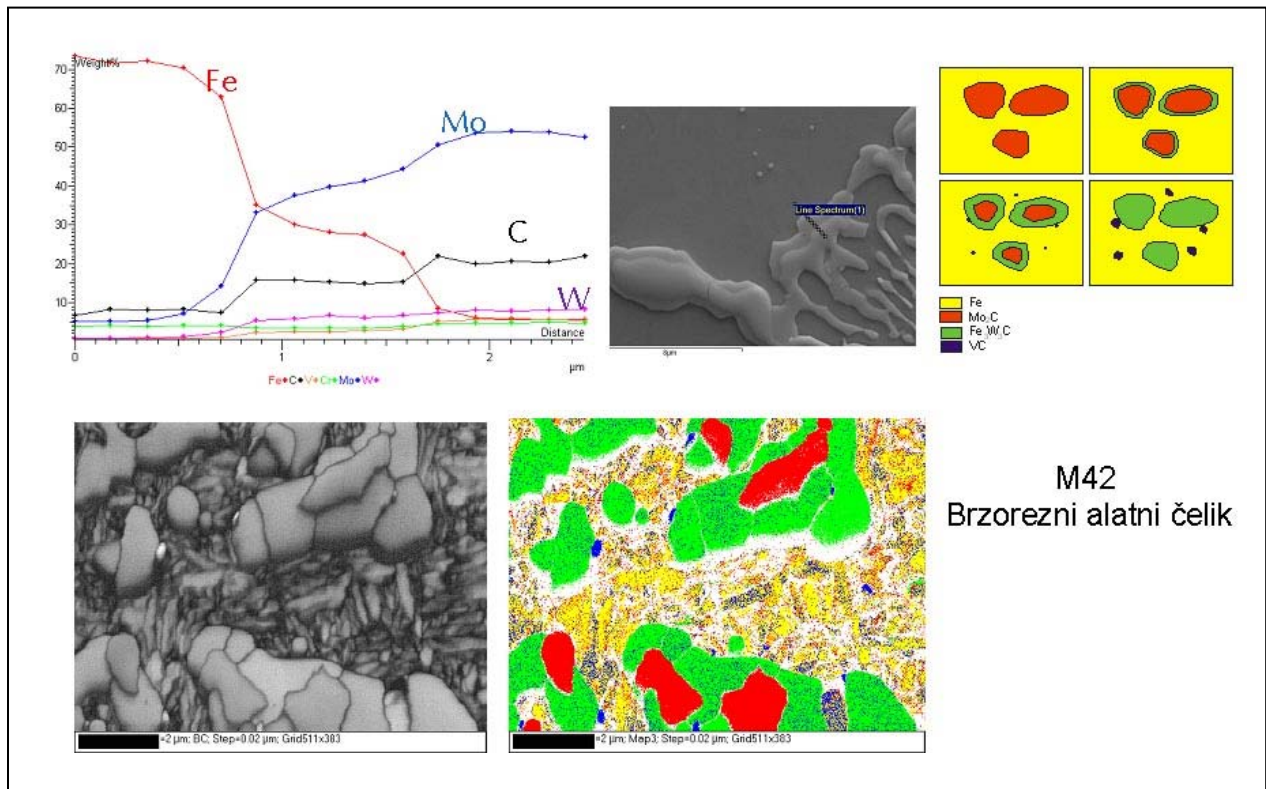
EBSD – Fazna analiza, analiza granica



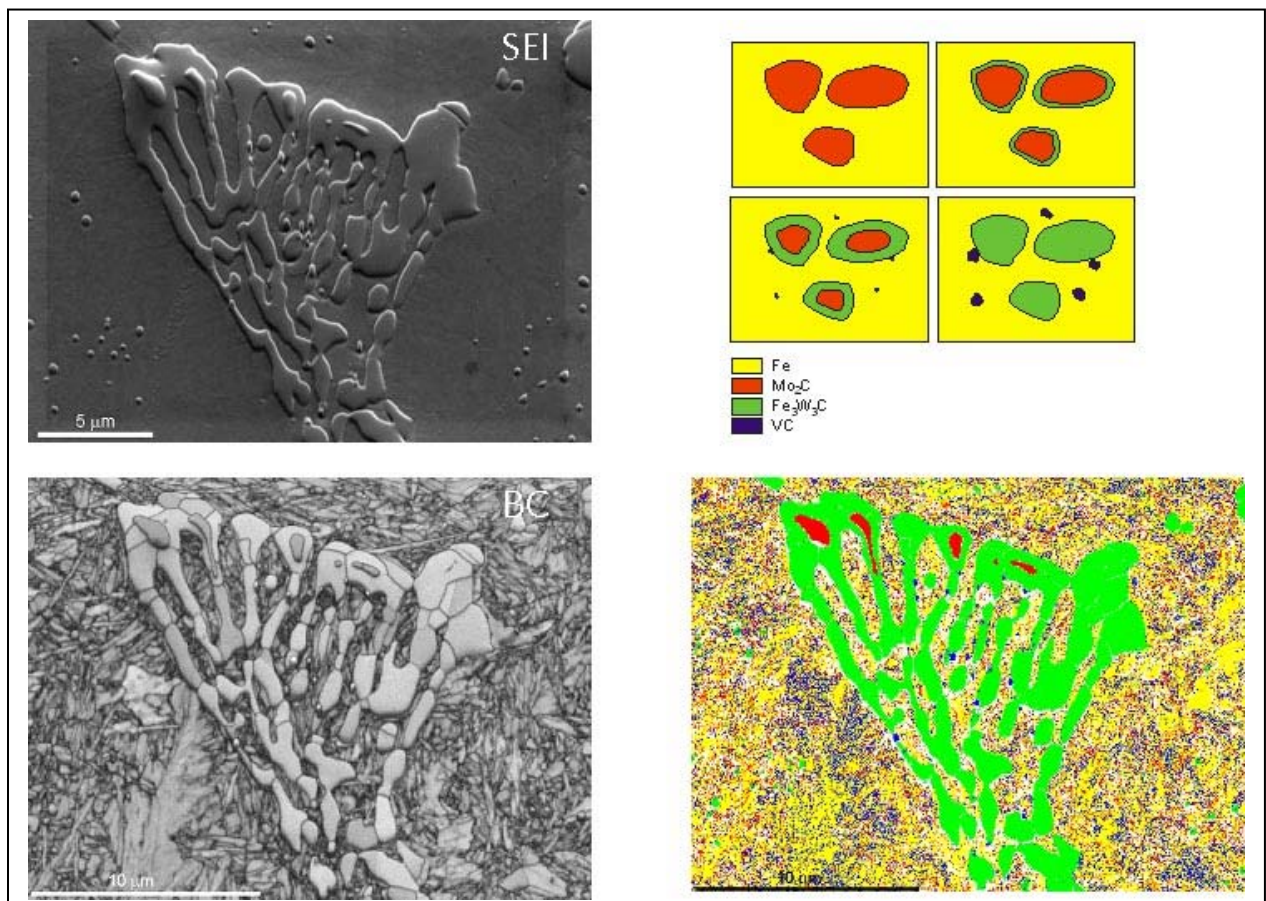
EBSD – fazna analiza



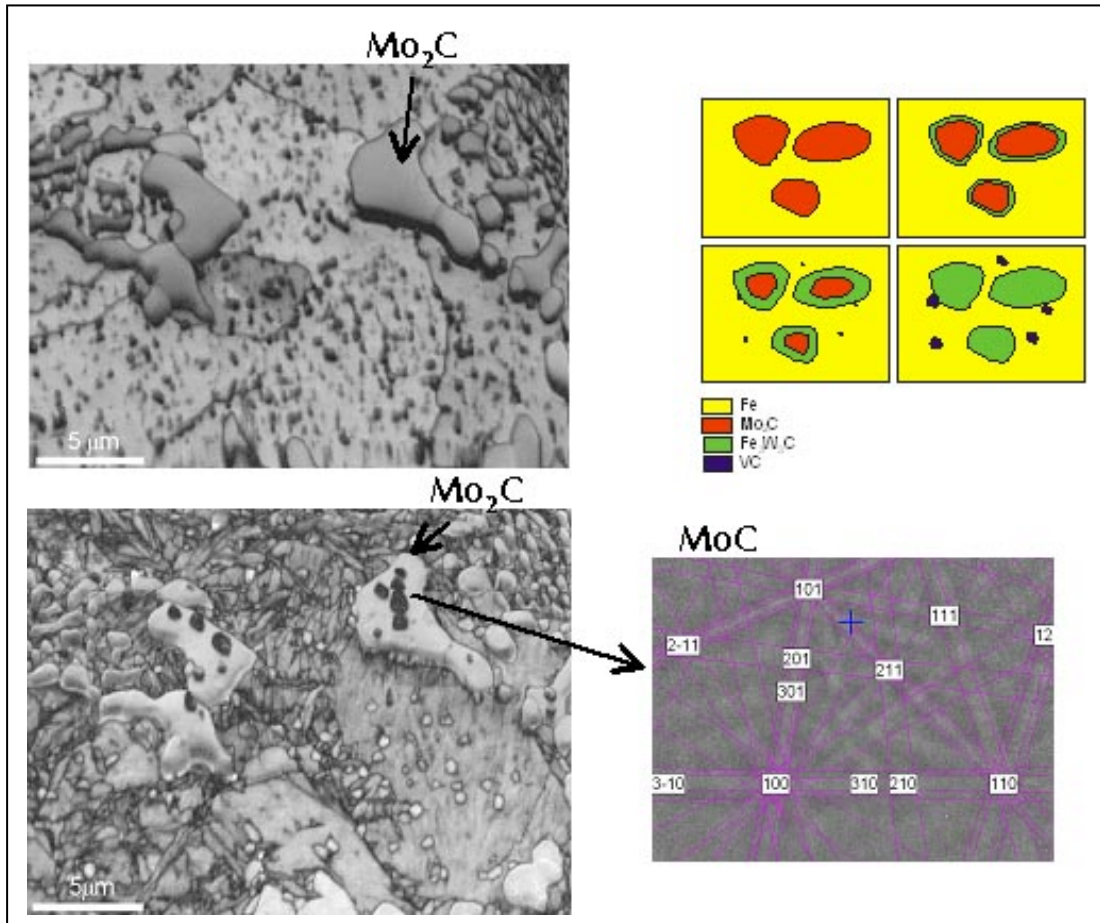
EBSD – fazna analiza



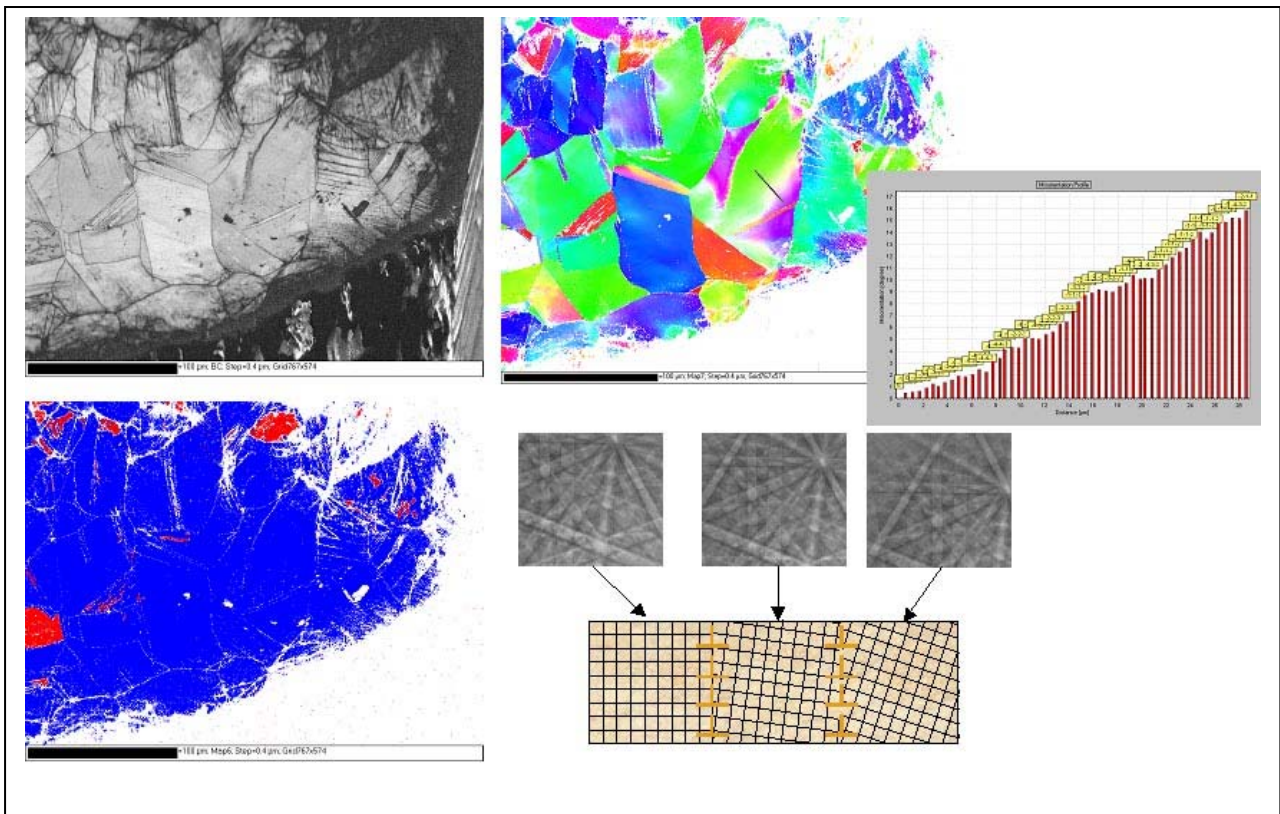
EBSD – fazna analiza



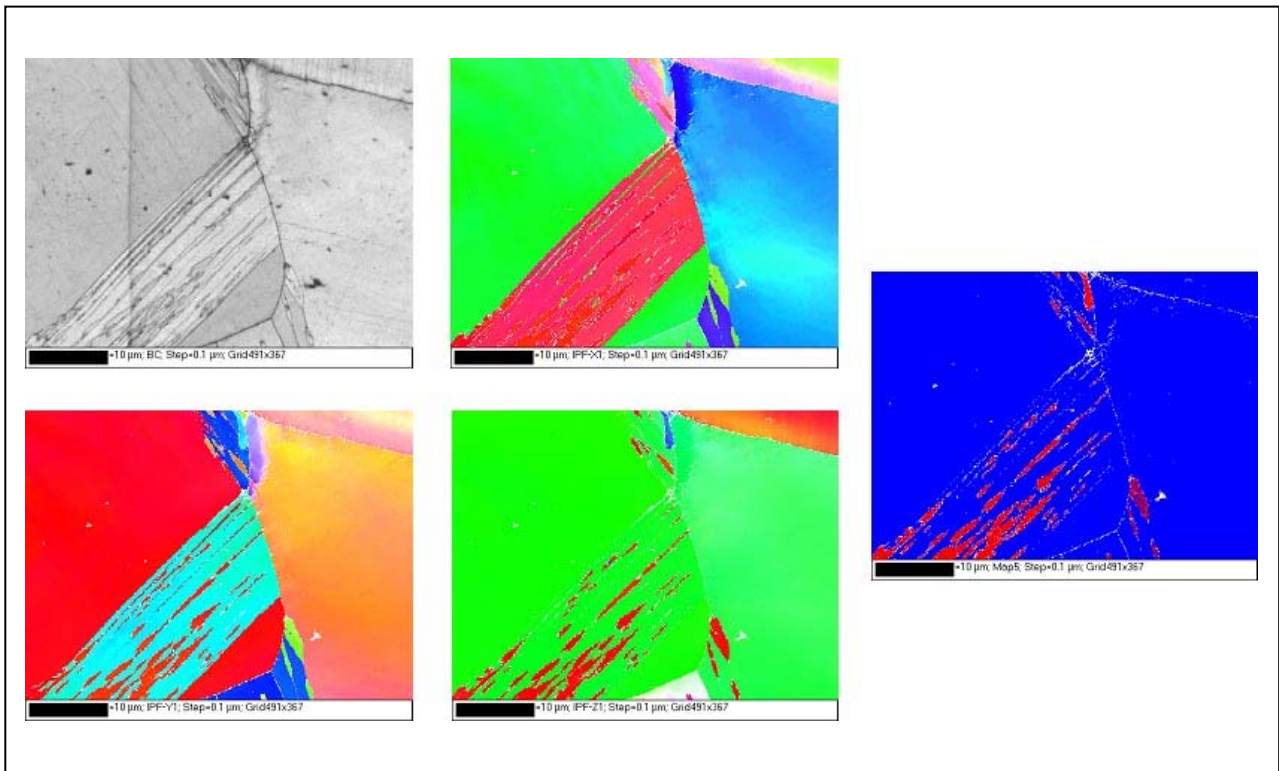
EBSB – fazna analiza



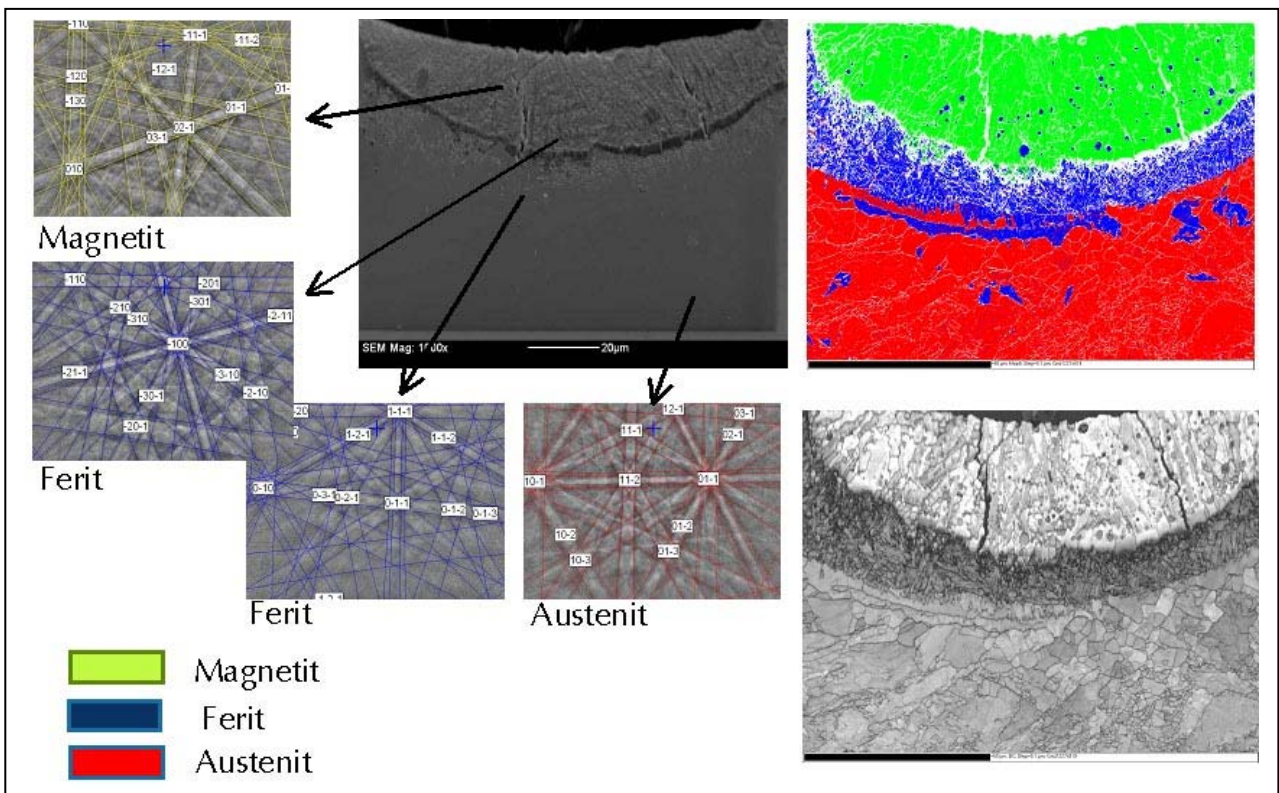
EBSB – fazna analiza



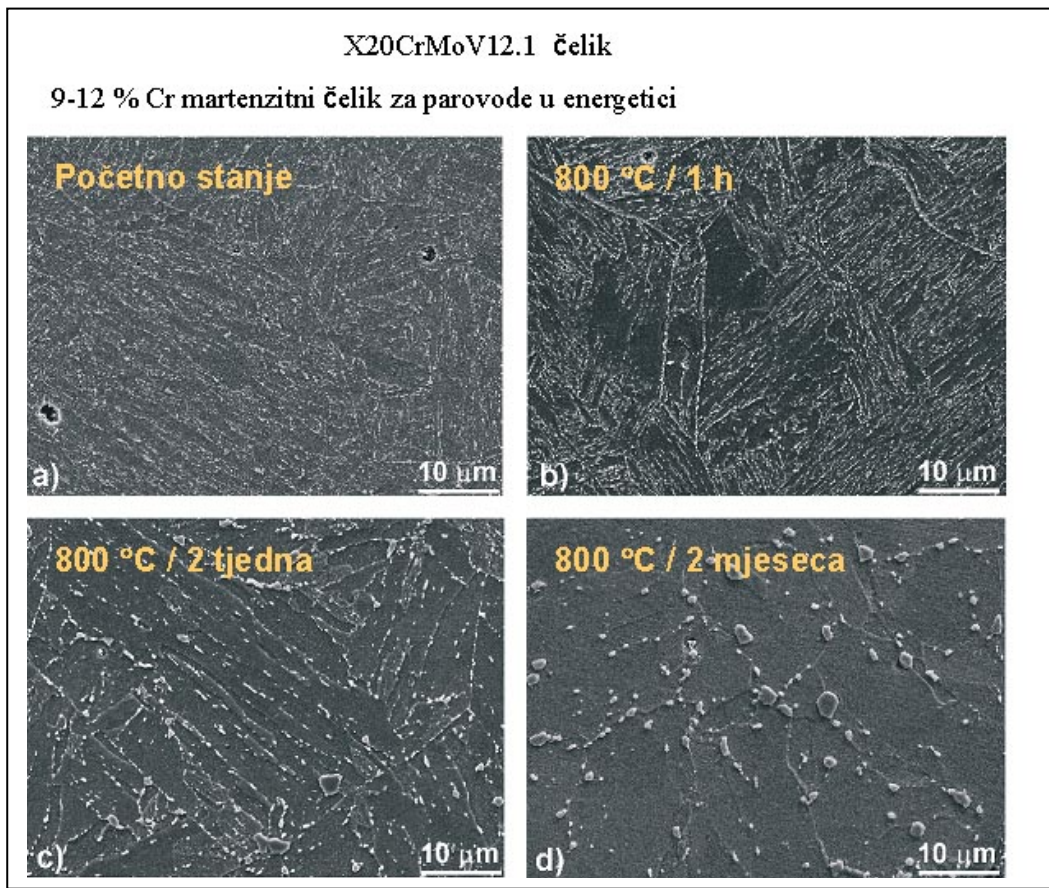
EBSD – fazna analiza



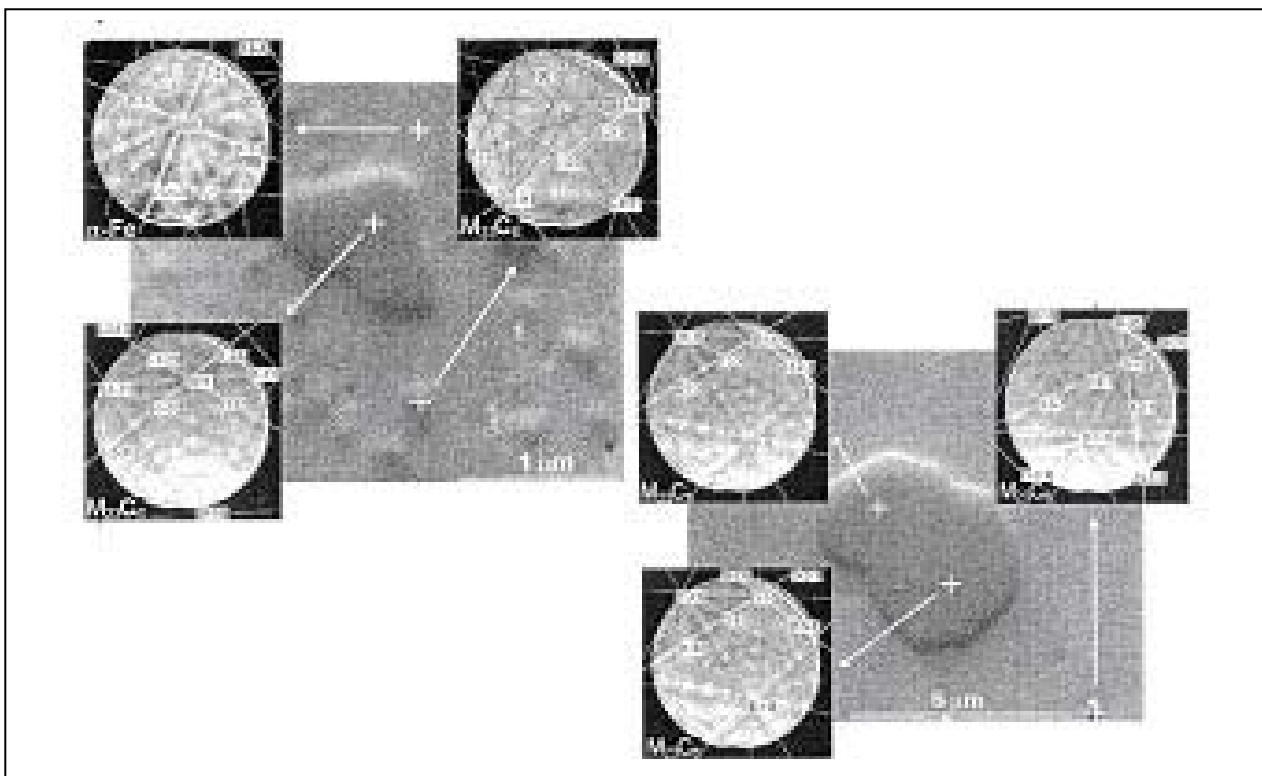
EBSD – fazna analiza



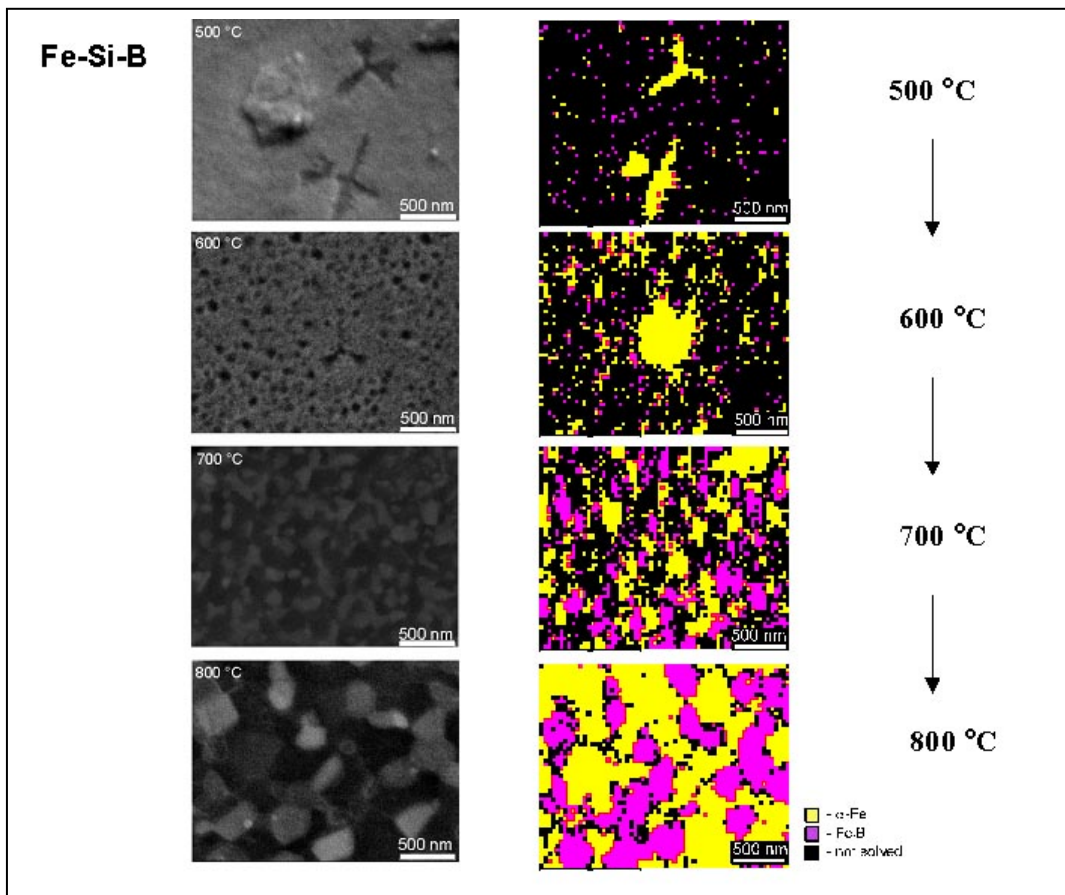
EBSD – fazna analiza



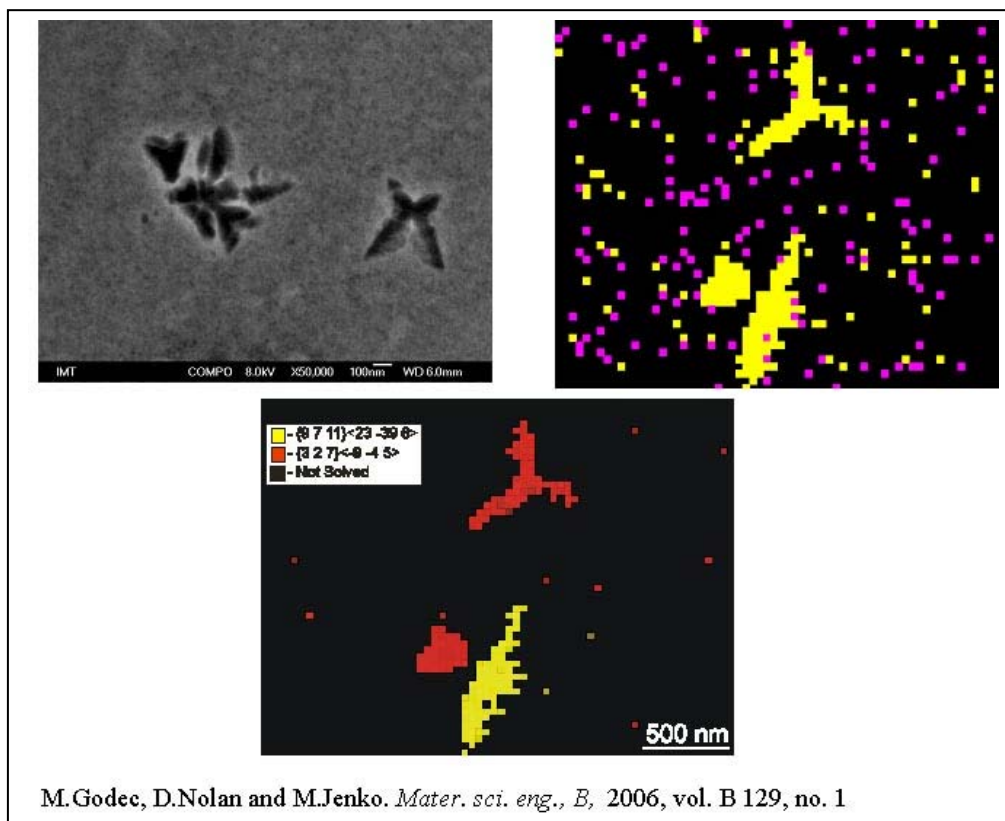
EBSD – fazna analiza



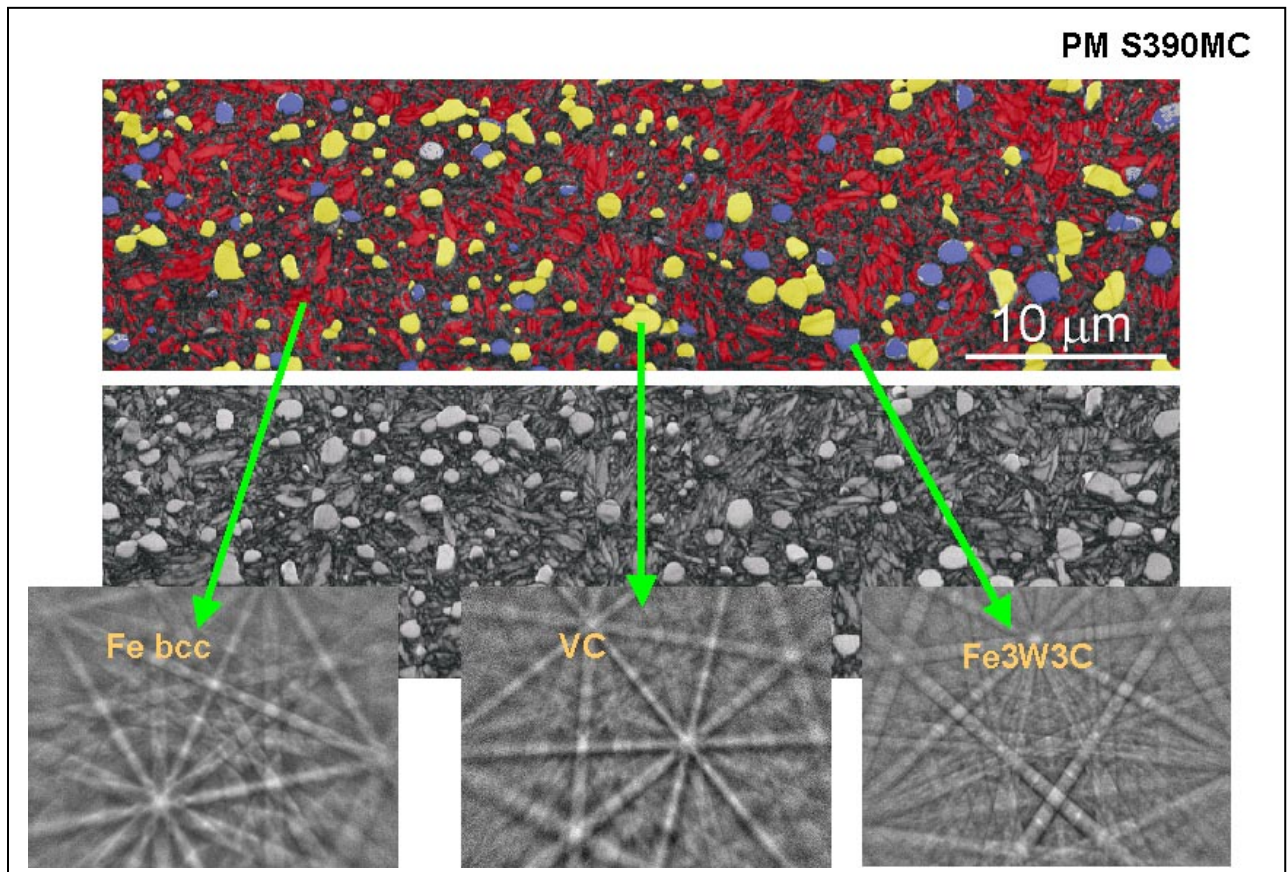
EBSD – fazna analiza



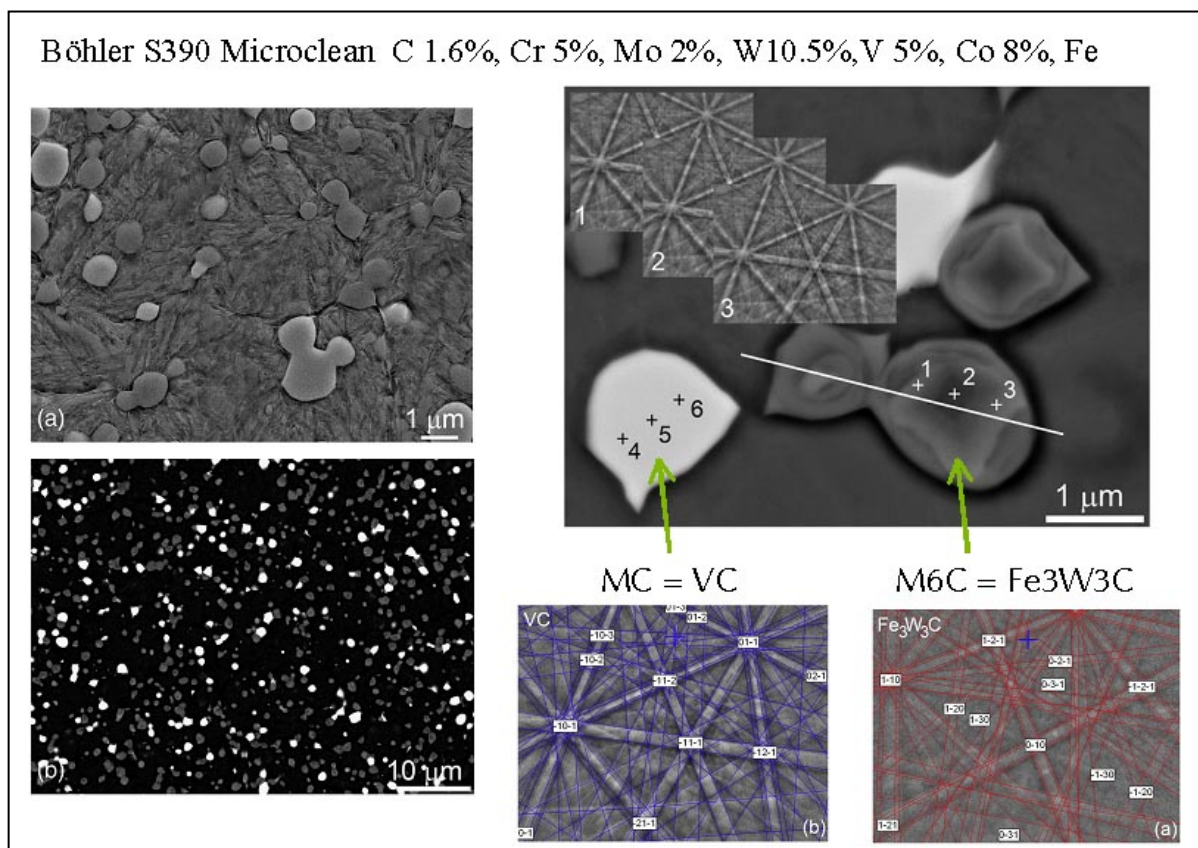
EBSD – fazna analiza



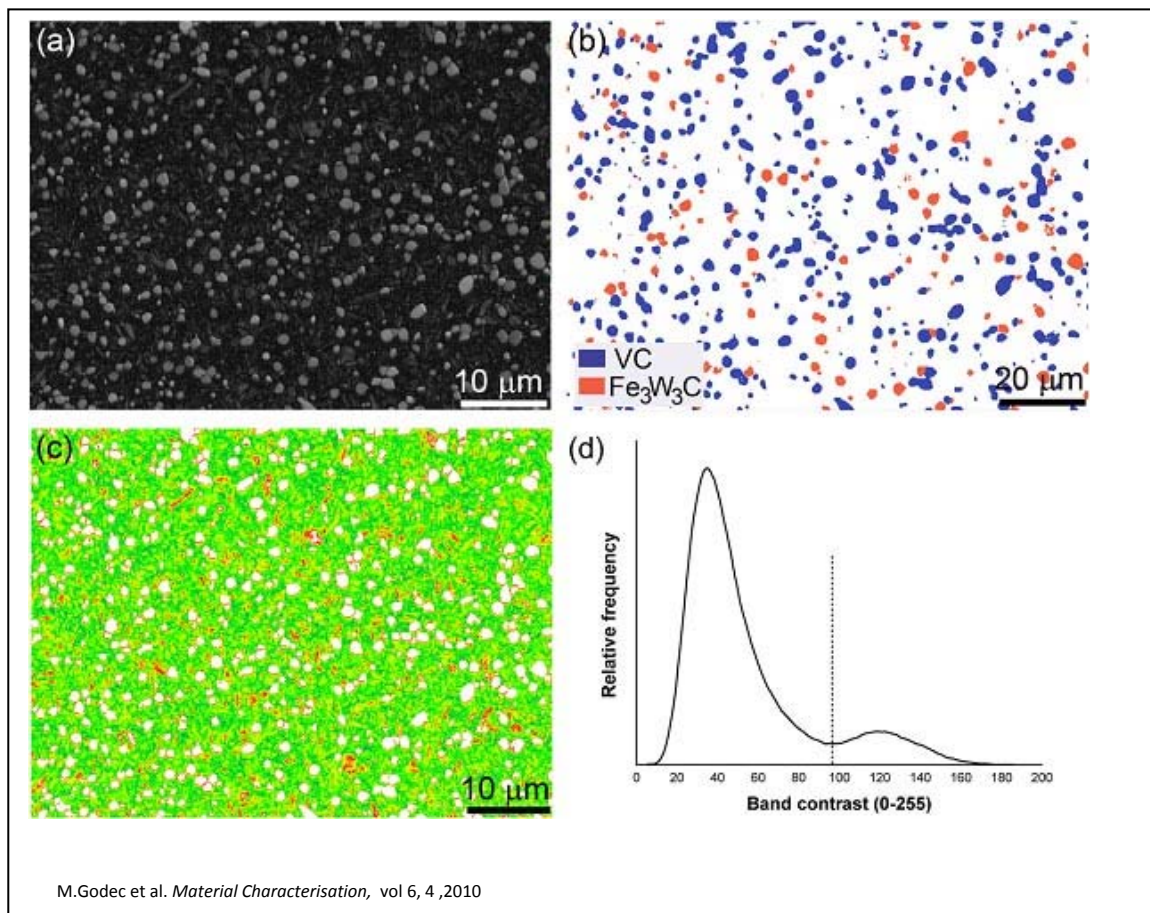
EBSD – fazna analiza



EBSD – fazna analiza



EBSD – fazna analiza



ZAKLJUČCI

- EBSD je difrakcijska analitička tehnika koja u kombinaciji sa FEG SEM omogućuje razlučivost do 50 nm.
- Kristalografske informacije vezane za svoju poziciju u SE slici daju sasvim nove informacije materijala. Kombiniranjem EDS i EBSD tehnike može se otkriti struktura materijala na nano razini.
- EBSD metoda omogućava potpuno novo područje istraživanja na temelju kristalografske mikrostrukturne informacije.

**MOGUĆI NAČIN OJAČAVANJA METALNIH
POVRŠINA**

**POSSIBLE WAY OF STRENGTHENING METAL
SURFACES**

Prof.dr. Sabahudin Ekinović
Univerzitet u Zenici, Rektorat,
BiH

MOGUĆI NAČIN OJAČAVANJA METALNIH POVRŠINA

POSSIBLE WAY OF STRENGTHENING METAL SURFACES

Prof.dr. Sabahudin Ekinović, Univerzitet u Zenici, Rektorat, BiH

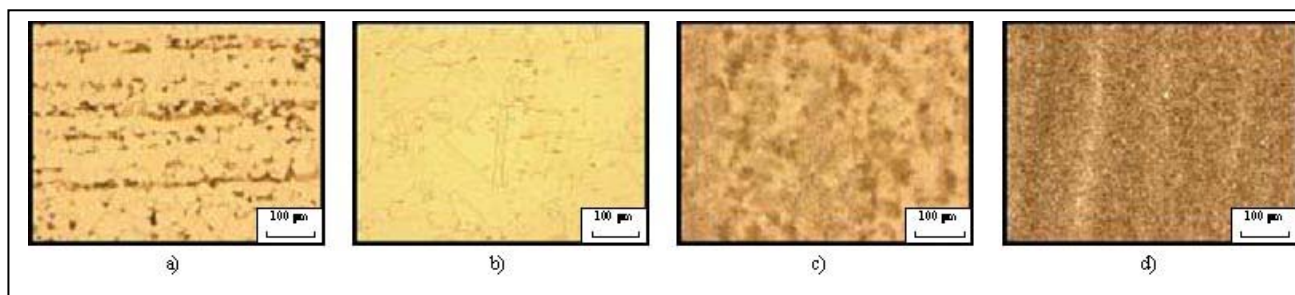
Zadnjih dvadesetak godina su veoma intenzivna istraživanja obrade otvrdnutih materijala, naročito u oblasti tzv. VISOKOBRZINSKIH OBRADA

Ovo je najviše iz razloga što visokobrzinske tehnologije omogućavaju efikasnu obradu i izvrstan kvalitet obrađene površine, ili generalno, odličan INTEGRITET OBRADENE POVRŠINE

Prednosti visokobrzinskih obrada

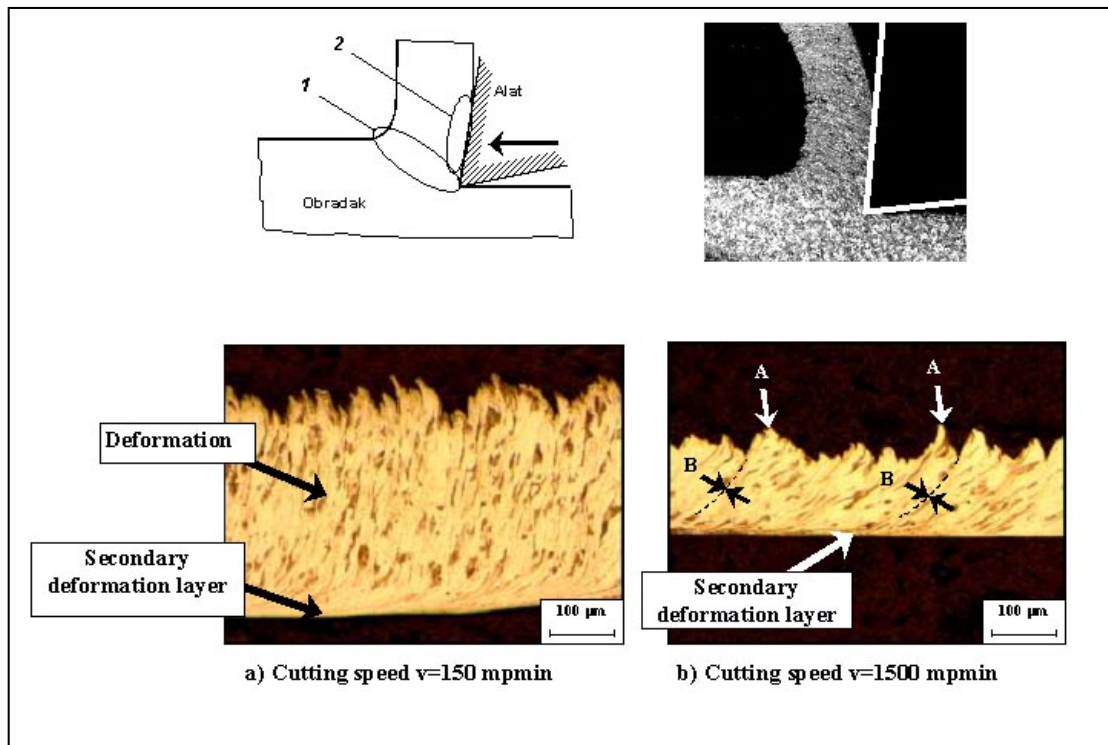
Hemijski sastav istraživanih vrsta čelika

Vrsta čelika / Stanje	Hemijski sastav, %										
	C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Ni	Mo	V	Al
Č.1221 (Ck)/annealed	0.17	0.27	0.41	0.019	0.013	0.31	0.12	0.08	0.01	-	0.053
Č.4580 (X5CrNi189)/austenite	0.04	0.45	1.55	0.028	0.035	0.53	18.26	8.80	0.63	0.08	0.017
Č.4758 (X63CrMoV51)/annealed	0.62	1.0	0.59	0.017	0.004	0.26	5.46	0.23	1.21	0.46	0.028
Č.4758 (X63CrMoV51)/tempered											

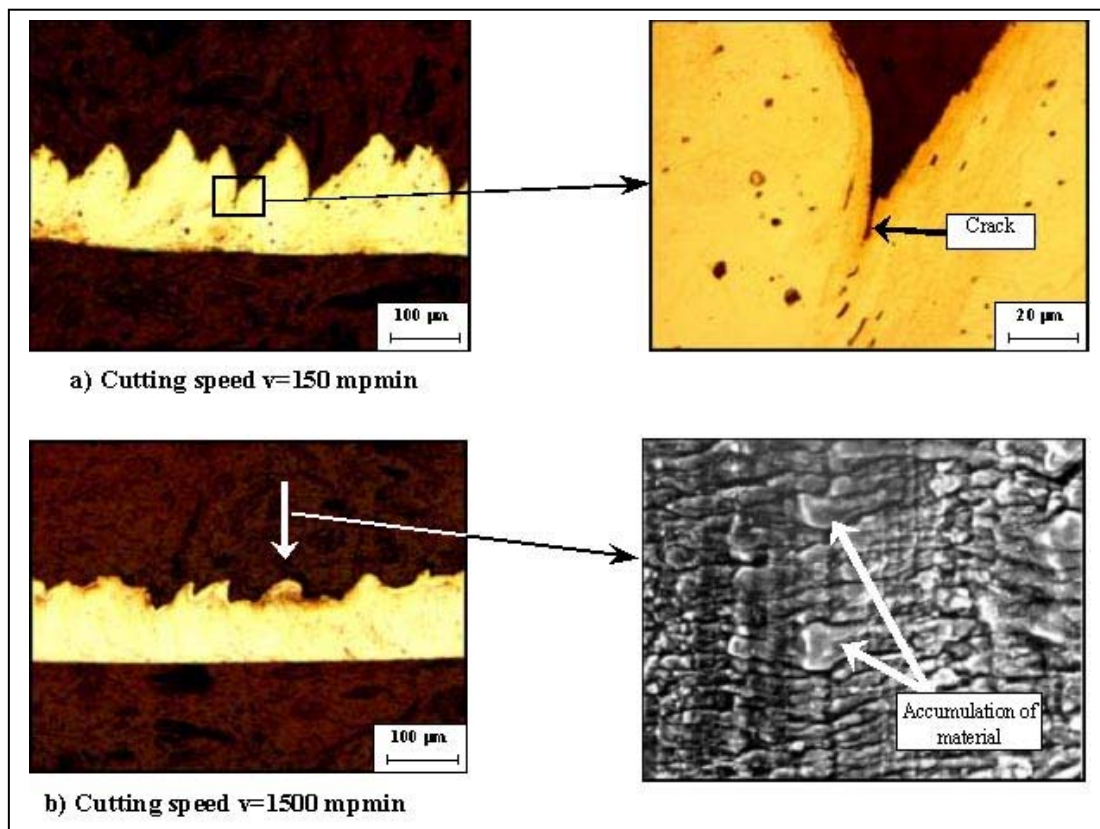


Mikrostruktura obrađenih vrsta čelika:

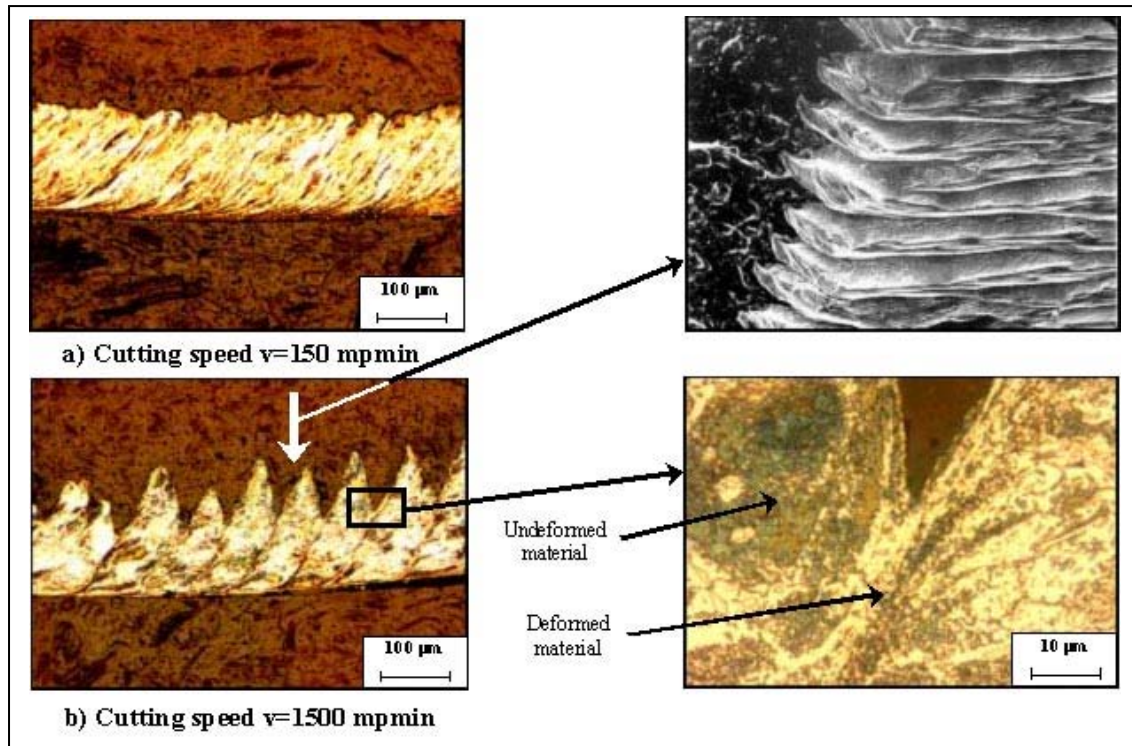
a) Č.1221 (Ck15), 156 HV, b) Č.4580 (X5CrNi189), 221HV,
c) Č.4758 (X63CrMoV51)- žaren, 282 HV, d) Č.4758 (X63CrMoV51)-poboljšan, 629 HV,



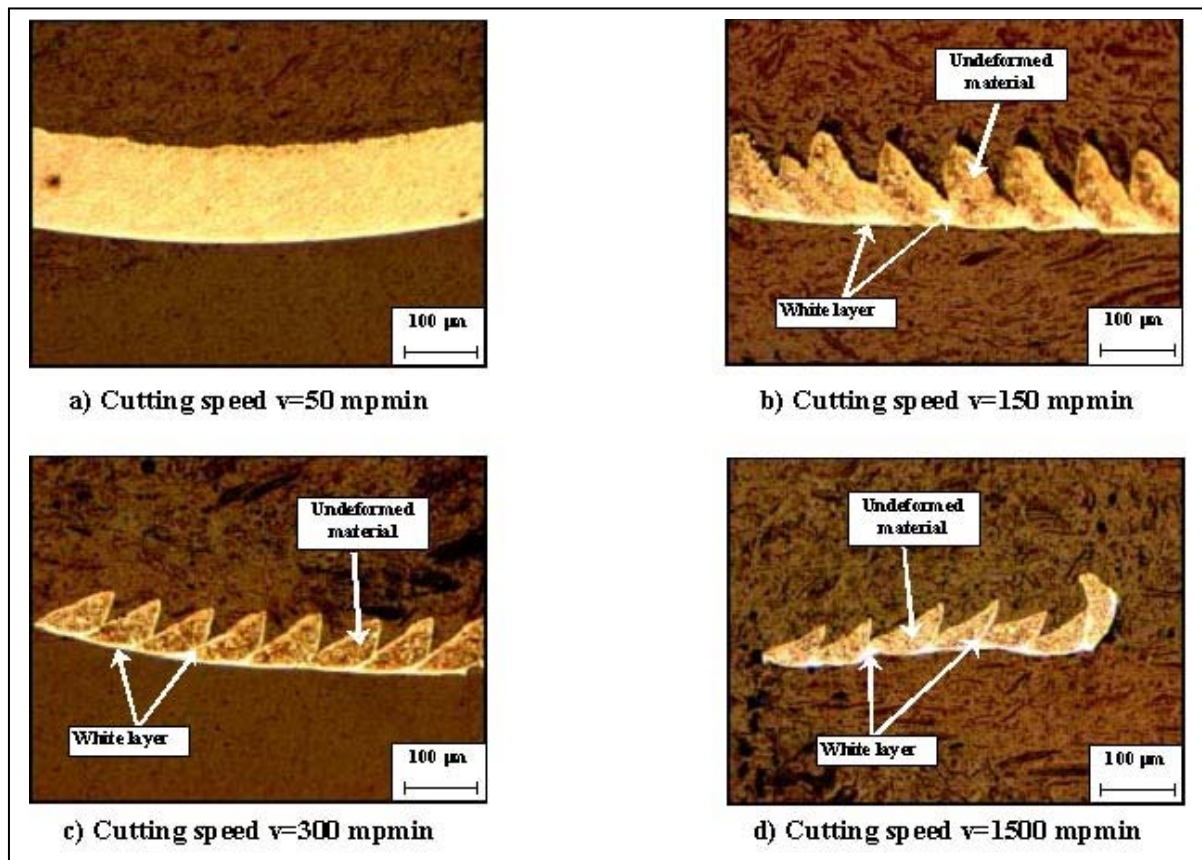
Poprečni presjek proizvedenog sloja u toku obrade čelika Č1221



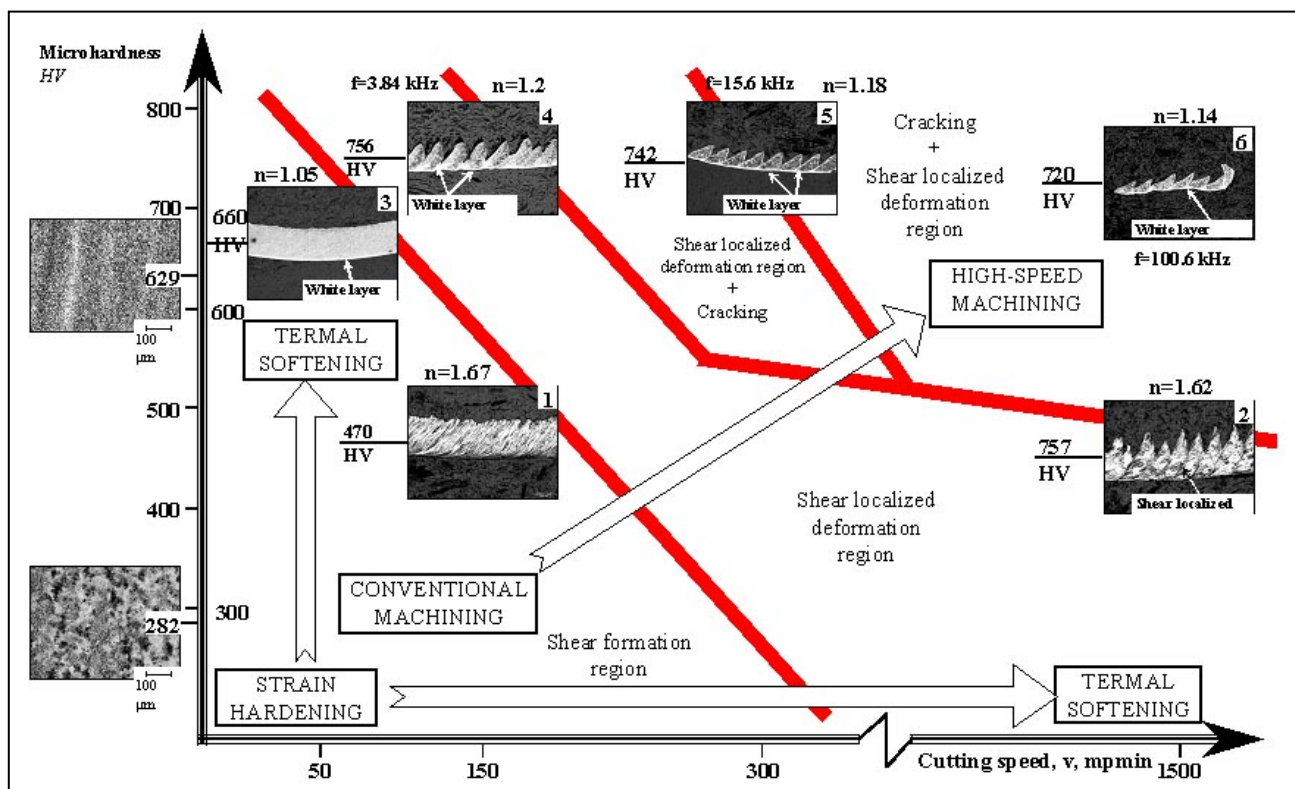
Poprečni presjek proizvedenog sloja u toku obrade čelika Č4580



Poprečni presjek proizvedenog sloja tokom obrade žarenog čelika Č4758



Poprečni presjek proizvedenog sloja tokom obrade poboljšanog čelika 4758



Jedan od fenomena pri visokobrzinskoj obradi otvrdnutih čelika je pojava tzv. BIJELOG SLOJA.

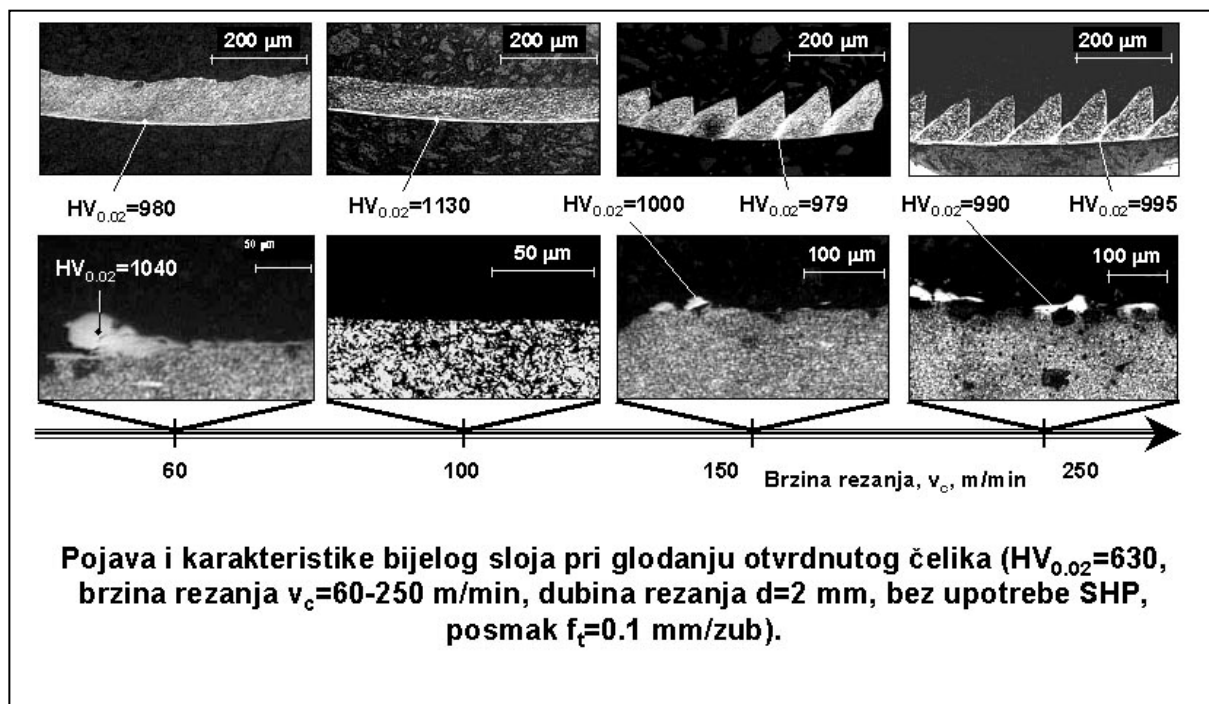
DUGO SE SMATRALO da je BIJELI SLOJ nastao na ovaj način, TRIBIOLOŠKI NEPOŽELJAN.

Mnoga istraživanja se provode s ciljem identifikacije faktora koji utiču na proces stvaranja i karakteristike bijelog sloja, još uvijek nije potpuno razjašnjen mehanizam nastanka bijelog sloja, zatim njegove karakteristike, kao i uticaj na integritet obrađene površine, a u funkciji režima obrade.

Fenomen nastanka bijelog sloja je identificiran još 40-tih godina prošlog vijeka.

Poznato je da je nastanak bijelog sloja univerzalan proces, bez obzira o kom postupku obrade se radi (struganje, glodanje, brušenje i t.d.) i karakterističan je za strugotinu, ravninu rezanja i obrađenu površinu.

U slučaju kontinuirane strugotine bijeli sloj se pojavljuje na unutrašnjoj strani strugotine, dok se kod segmentirane, javlja još i između segmenata strugotine.



Istraživanja koja se provode u LORAM (Laboratorija za obradu rezanjem i alatne mašine Mašinskog fakulteta UNZE) imaju za cilj određivanje mogućih POZITIVNIH EFEKATA bijelog sloja nastalog visokobrzinskim obradama čelika povišene tvrdoće, a s aspekta kvaliteta obrađene površine (niža hrapavost i viša tvrdoća).

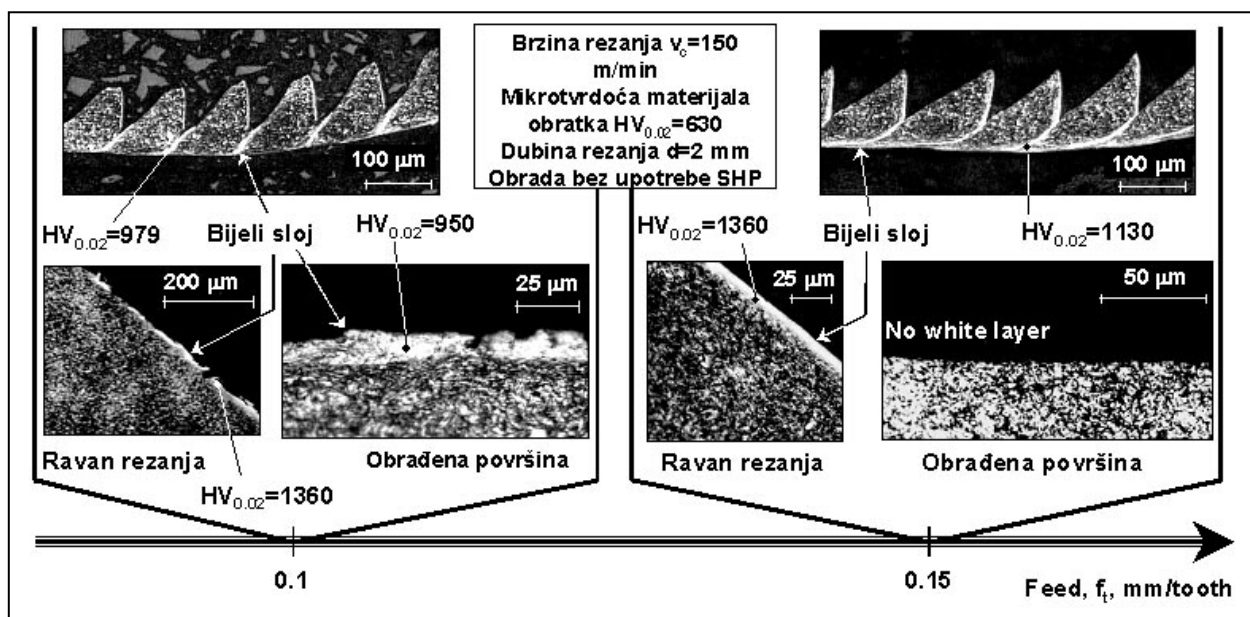
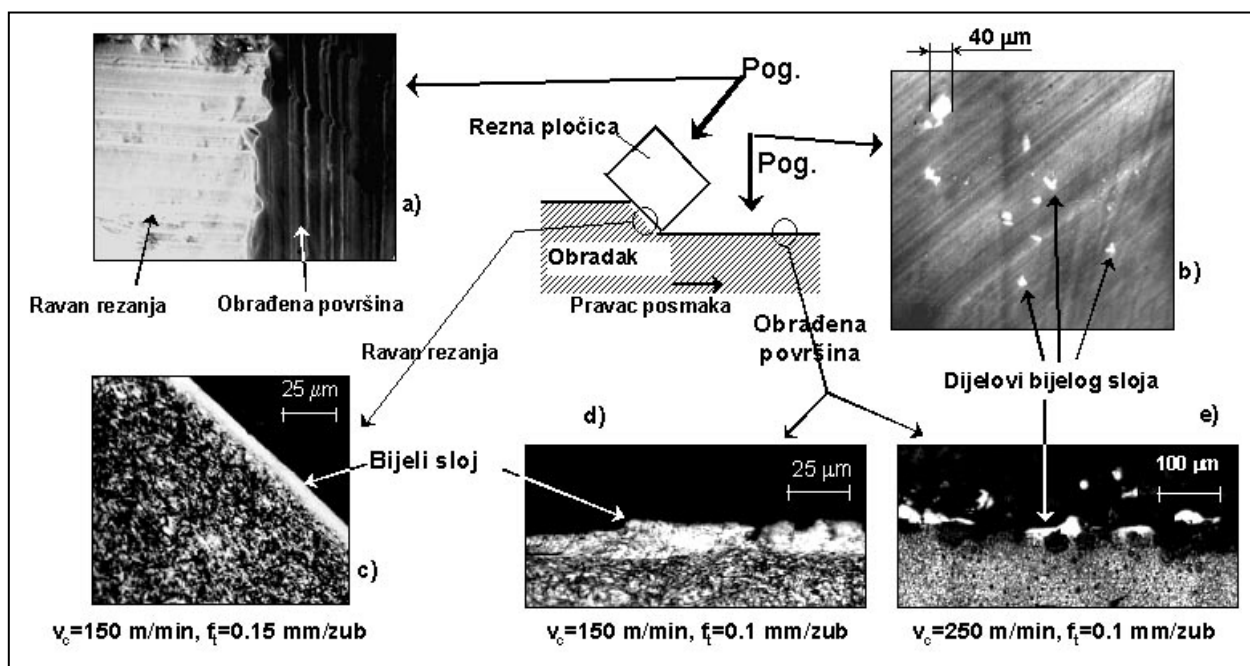
MOŽDA SE RADI O NOVOM NAČINU NANOŠENJA PREVLAKA!!!!

EKSPERIMENTALNO ISTRAŽIVANJE

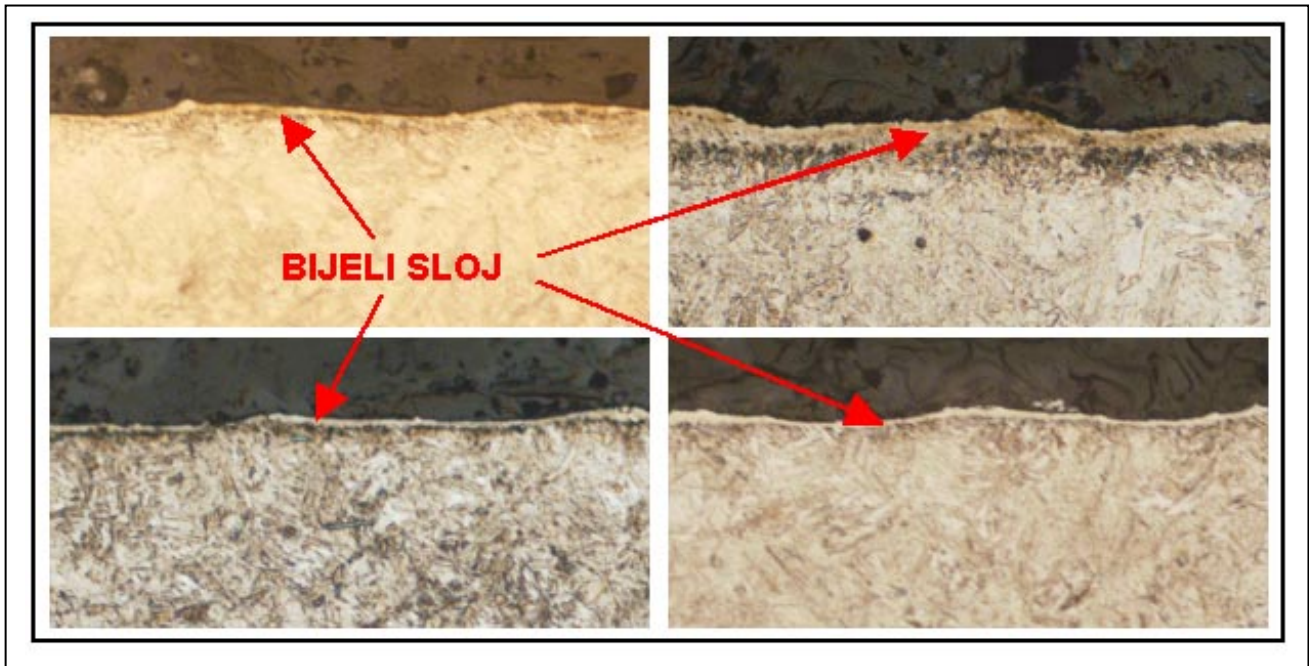
Obrada glodanjem je vršena na glodalici, tip Mori Seiki-Frontier. Uslovi obrade: promjer glodala $D=80$, $D=50$ mm, dubina rezanja $d=2$ mm, posmak $f_t=0.1$ i 0.15 mm/zub, rezna pločica SFKN 12T3 AZTN (CVD prevlaka $TiN+Al_2O_3+TiCN$), brzina rezanja $v_c=60-250$ m/min, $\gamma=27^\circ$, $\lambda=7^\circ$, $k=45^\circ$, obrada bez upotrebe SHP.

Hemijski sastav radnog materijala, tež., %										
C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Ni	Mo	V	Al
0.62	1.0	0.59	0.017	0.004	0.26	5.46	0.23	1.21	0.46	0.028

Mikrotvrdoća materijala obradka $HV_{0.02} = 630$



Uslovi pojave i karakteristike bijelog sloja pri glodanju čelika u poboljšanom stanju ($HV_{0.02}=630$, brzina rezanja $v_c=150$ m/min, dubina rezanja $d=2$ mm, obrada bez upotrebe SHP, posmak $f_t=0.1$ i 0.15 mm/zub).



Cutting insert

Al ₂ O ₃ /TiCN				
α	γ _{cr}	r	Fazeta	VB
5	-25	0.8	0.2/20	300
5	-25	0.8	0.2/20	210

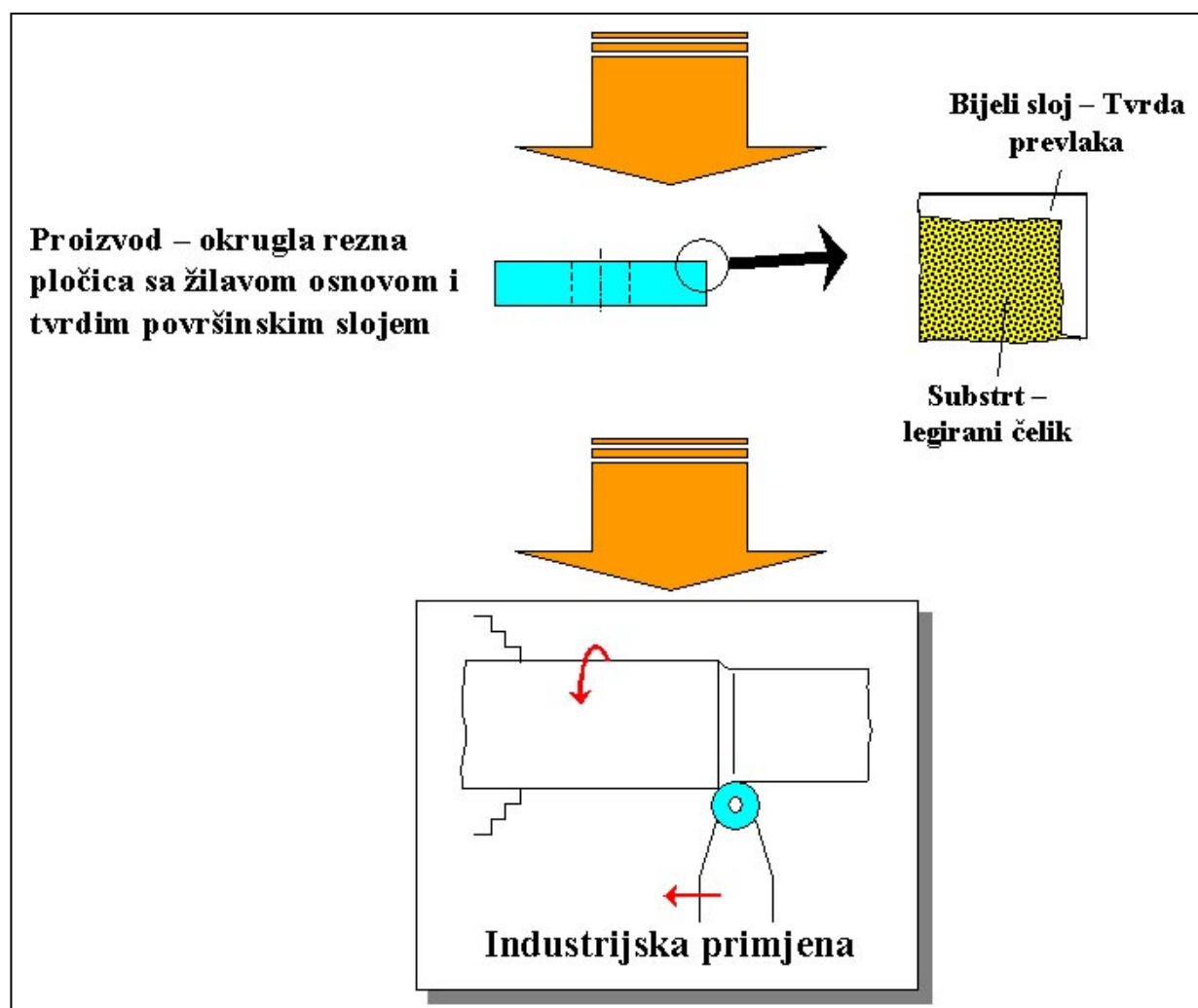
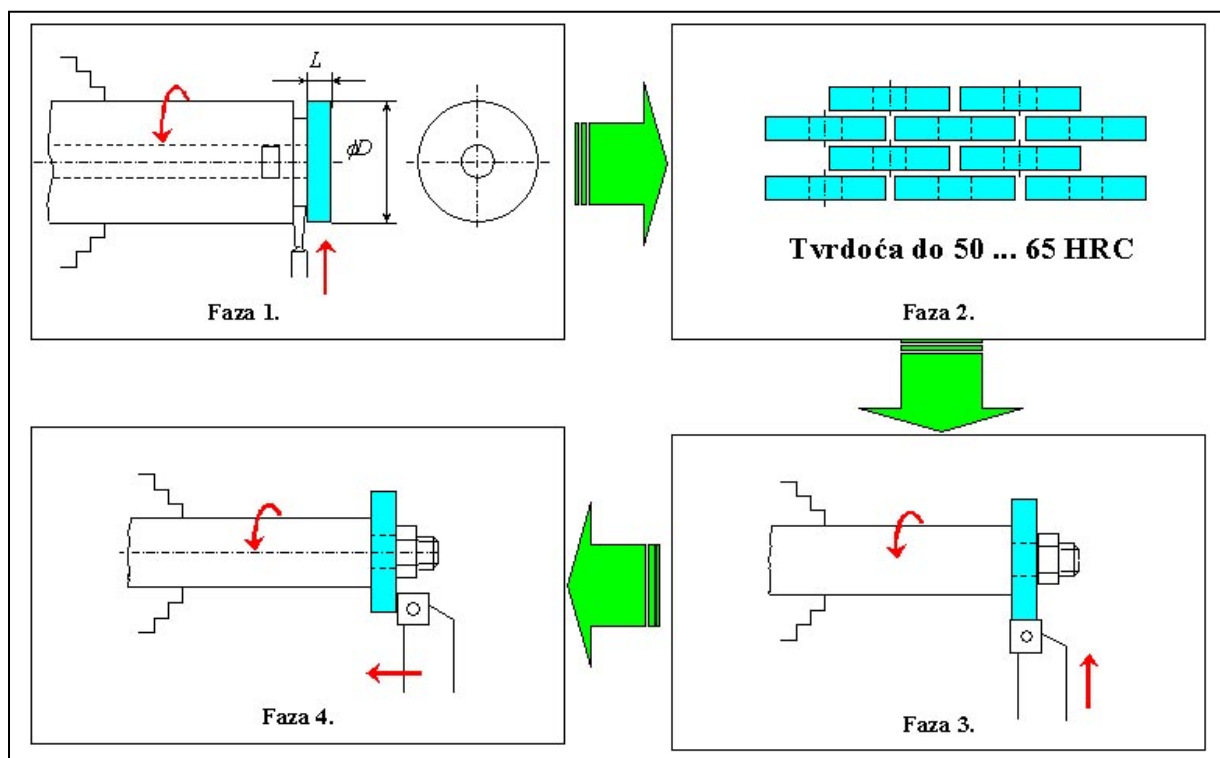
Work piece material

16MnCr5	60-62 HRC
---------	-----------

Machining conditions

Uslovi	s(mm/o)	t(mm)	v(m/min)
A	0.05	0.05	200
B	0.12	0.3	150

Machining without using of cooling and lubrication



ZAKLJUČCI

Provedena istraživanja i dobiveni rezultati daju osnov za sljedeće zaključke:

Ova tehnologija obrade kojom se kontroliše nastanak i karakteristike bijelog sloja, može u izvjesnim granicama i zamijeniti trenutno najviše rasprostranjene CVD i PVD procese presvlačenja reznog alata.

**RAZVOJ MIKROLEGIRANIH ČELIKA
SAVREMENI TRENDVI**

**DEVELOPMENT OF MICRO – ALLOYED STEEL
CONTEMPORARY TRENDS**

Prof.dr. Nenad Radović

Univerzitet u Beogradu, Tehnološko metalurški fakultet,
R.Srbija

RAZVOJ MIKROLEGIRANIH ČELIKA

DEVELOPMENT OF MICROALLOYED STEELS

Prof.dr. Nenad Radović, Tehnološko metalurški fakultet Univerziteta u Beogradu, Karnegijeva 4, 11000 Beograd, Srbija, nenrad@tmf.bg.ac.rs

Abstrakt

Godišnja proizvodnja čelika za 2010. godinu od 1413,6 miliona tona predstavlja istorijski maksimum i povećanje od preko 80% u odnosu na 1999. godinu. Veliko potraživanje za čelikom je potaklo intenzivni razvoj različitih kvaliteta i vrsta čelika. Zahtevi koji se postavljaju pred razvoj savremenih konstrukcionih čelika su: (i) značajno povećanje čvrstoće i žilavosti, koje rezultira smanjenjem težine konstrukcije ili povećanju nosivosti; (ii) potreba svetskog tržišta za cevovima koji se lako zavaruju. Da bi se ispunili ovi zahtevi, moralo se odstupiti od tradicionalnog recepta za povećanje čvrstoće na bazi povećanja sadržaja ugljenika i legirajućih elemenata, jer je to povezano sa veoma skupim dodatnim materijalima i rigoroznim ograničenjima pri zavarivanju. Rešenje je pronađeno u razvoju mikrolegiranih čelika. U mikrolegiranim čelicima mali dodatka legirajućih elemenata i puna kontrola termomehanike prerade obezbeđuje intenzivno smanjenje zrna i/ili taložno ojačavanje, a time i dobru kombinaciju čvrstoće i žilavosti. U radu su predstavljene aktivnosti na razvoj nisko i srednje ugljeničnih mikrolegiranih čelika na Katedri za Tehnološko metalurškom fakultetu Univerziteta u Beogradu.

Abstract

Annual production of steel in 2010 year of 1413,6 million tonnes is the historical highest annual production and it is for almost 80% higher production in comparison with year 1999. This high demand has intensive research for new types and qualities of steels. Most important requirements for construction steels are: (i) considerable increase in both strength and toughness, resulting in lower weight of construction, and (ii) strong world need for weldable pipelines. In order to fulfill these requirements, it was not possible to use the traditional approach based on increase of carbon and alloying elements content, due to expensive filler materials and rigorous limitations in welding. Solution was found in development of microalloyed steels. In microalloyed steels, a small addition of specific alloying elements and control of thermomechanical treatment provide intensive grain refinement and/or precipitation hardening, leading to good combination of strength and toughness. In this paper, research activities in development of both low and medium carbon microalloyed steels on Faculty of Technology and Metallurgy are presented.

UVOD

Prema nekim procenama, industrija će, nevezano za razlog (povećanje efikasnosti konstrukcija, smanjenje troškova održavanja i reparature, uvođenje zakonom propisane čistije tehnologije, konkurentnost novih materijala i sl.), zahtevati promjenu ili alternativu za oko 95% materijala iz današnje industrijske upotrebe. Sa druge strane, ove projekcije se uvek moraju uzimati sa rezervom, jer nas tome uči iskustvo o projekcijama zamene čelika drugim konstrukcionim materijalima, koje su rađene u toku šezdesetih godina prošlog veka i koje su predviđale dramatično smanjenje upotrebe čelika na račun drugih obojenih metala, a što se nije realizovalo ni u najmanjem delu. Glavni razlog za ovakve pogrešne procene je superiornost čelika u pogledu odnosa kvaliteta koji se zahteva i cene za koju se taj kvalitet obezbeđuje, što čelik čini najšire korišćenim konstrukcionim materijalom savremenog doba. Godišnja proizvodnja čelika za 2010. godinu od 1413,6 miliona tona predstavlja istorijski maksimum i povećanje od preko 80% u odnosu na 1999. godinu. Niti jedan drugi industrijski materijala nije zabeležio ovakav nagli rast u moderno vreme [1].

Pojam mikrolegirani čelici se tradicionalno vezivao za niskougljениčne čelike povišene čvrstoće, koji su sadržavali male količine niobijuma i/ili vanadijuma. Sa druge strane, ovakva definicija koja povezuje povećanje čvrstoće usled dodatka male količine legirajućeg elementa mora obuhvatiti i aluminijum, bor, titan i u najnovije vreme molibden. Danas se u mikrolegirane čelike svrstavaju oni čelici kod kojih mali dodatak legirajućih elemenata dovodi do intenzivnog smanjenja zrna i/ili taložnog ojačavanja usled izdvajanja stabilnih čestica karbida, nitrida ili karbonitrda (u niskougljениčnim) ili izdvajanja sitnozrnog ferita (u srednjeuglјениčnim). To su čelici legirani niobijumom (Nb) i/ili vanadijumom (V) i/ili titanom (Ti), u ukupnom sadržaju sva tri elementa ispod 0,15%. Njihova masovna upotreba i razvoj se vezuju sa početkom šezdesetih godina prošlog veka, odnosno sa počecima komercijalne proizvodnje ferolegura, pogotovu feroniobijuma. Od drugih legirajućih elemenata mogu se dodavati i bor i molibden [2].

Glavni mehanizam za istovremeno povećanje i čvrstoće i žilavosti je smanjenje veličine zrna. U niskouglјениčnim mikrolegiranim čelicima se smanjenje zrna ostvaruje primenom različitih tehnologija termomehaničke prerade (TMCP). Predvaljanje i završno valjanje se izvode u temperaturnim intervalima kada se kontrolišu međusobni odnosi između deformacionog ojačavanja, rekristalizacije i taloženja u toku provlaka i u toku pauza između provlaka. Na taj način se dobija austenitna struktura sa sitnim zrnom iz koga se dobija veoma fino feritno zrno. Takođe se nivo osobina može dodatno kontrolisati izborom hemijskog sastava i promenom brzine hlađenja. Sa druge strane, sadržaj ugljenika je ispod 0.08%, što uz prisustvo 0.015% Ti koji sprečava rast zrna u ZUT obezbeđuje poboljšanu zavarljivost [2,3].

Druga namena mikrolegiranih čelika je rezultat potrebe da se smanje proizvodni troškovi poboljšanih (kaljenih i otpuštenih) čelika. Oni se posle kovanja kale, otpuštaju, a često i ispravljaju i žare sa ciljem uklanjanja zaostalih napona. Sa druge strane, srednjeuglјениčni mikrolegirani čelici nakon kovanja, u uslovima kontinuiranog hlađenja (hlađenje na mirnom vazduhu – normalizacija), dobijaju finalnu strukturu. Pošto se ovi čelici ne deformišu na temperaturama na kojima je sprečena rekristalizacija, zadovoljavajuću žilavost ostvaruju time što se stvaraju faze koje imaju dobru žilavost (acikularni ferit). Pogodnim legiranjem, moguće je kontrolisati kinetiku izdvajanja VN u austenitnoj matrici, tj. formiranje velikog broja preferentnih mesta za kasniji nastanak acikularnog ferita prilikom razlaganja austenita. U ovom trenutku, ovi čelici ispunjavaju zahteve, ali još nisu dostigli žilavost poboljšanja čelika [4,5].

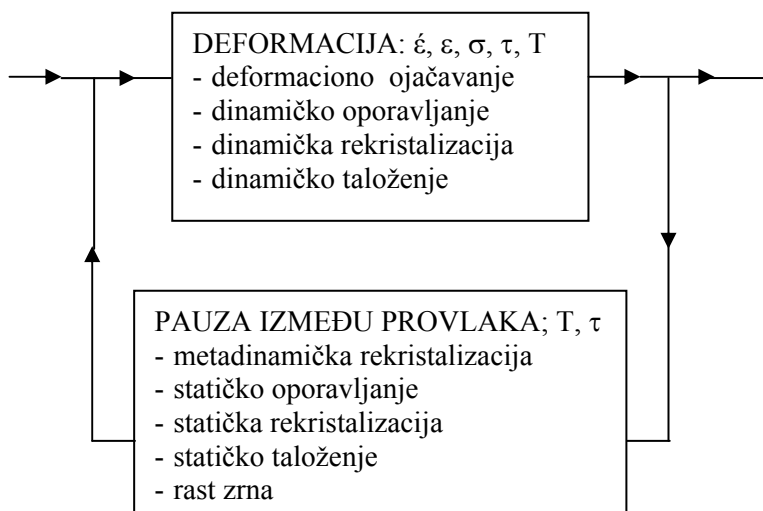
Deformacija mikrolegiranih čelika

Glavni istraživački zadatak koji je prethodio uvođenju mikrolegiranih čelika je bio da se razvije tehnologija proizvodnje i plastične prerade koja omogućava masovnu proizvodnju čelika čija je struktura bliska kaljenim i otpuštenim čelicima, ali uz unapređenu zavarljivost. Kaljene i otpuštene čelike karakterišu suvereno najbolja kombinacija čvrstoće i žilavosti, ali i slaba zavarljivost zbog visokog sadržaja ugljenika i legirajućih elemenata, te veliki troškovi proizvodnje (žarenje, hlađenje i otpuštanje, nekada i ispravljanje i žarenje za uklanjanje zaostalih napona, sa odgovarajućom opremom i radom). Cilj istraživanja je bio okrenut dobijanju čelika sa dominantno sitnozrnim feritnom strukturom. Zbog ove strukture, ovi čelici se često nazivaju fino-zrnima. Dodatni zahtev se odnosio na mogućnost masovne proizvodnje na opremi koja je zahtevala minimalne modifikacije. Zato je razvoj bio usmeren ka modifikaciji sastava postojećih niskouglјениčnih čelika i parametara valjanja (temperatura, raspodela deformacije po provlacima itd.).

Fiziko-metalurške osnove legiranja su zasnovane na poznavanju interakcije deformacionog ojačavanja – rekristalizacije – taloženja – fazne transformacije. Niskouglјениčni mikrolegirani čelici se prerađuju toplim valjanjem a srednjeuglјениčni se uglavnom prerađuju valjanjem i/ili kovanjem. U toku deformacije na povišenim temperaturama (u jednom ili više prevlaka) može doći do različitih procesa, slika 1 [3,6].

Procesni parametri koji opisuju deformaciono ponašanje metala na povišenim temperaturama su brzina deformacije, $\dot{\epsilon}$, stepen deformacije, ϵ , primenjeno naprezanje, σ , dužina pauze između provlaka, τ i temperatura, T. Svaka kombinacija ovih parametara će dovesti do deformacionog

ojačanja. Sa druge strane, ako se ispune uslovi za pojavu procesa obnavljanja strukture, može doći do dinamičkog oporavljanja ili rekristalizacije. Ako se u toku procesa postižu uslovi za povećanje brzine difuzije ili smanjenje rastvorljivosti, moguća je pojava taloženja dok traje deformacija – dinamičkog taloženja. Svi navedeni procesi utiču na strukturu koja se stvara u metalu nakon završetka deformacije. Završenom deformacijom, termomehanička prerada može biti završena (prerada u jednom provlaku, npr. eketruzija) ili će nakon pauze biti nastavljena daljim provlacima (npr. valjanje).



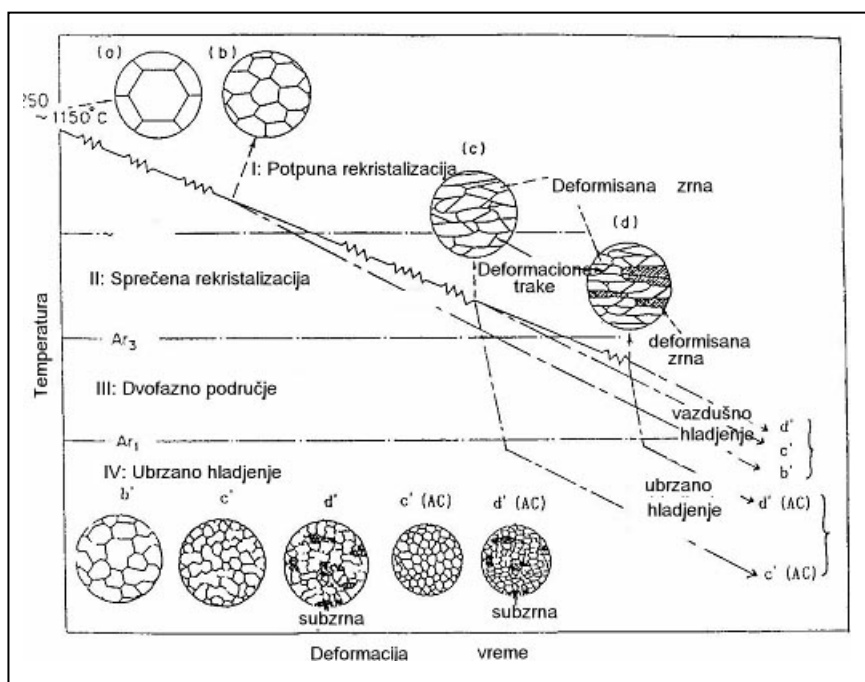
Slika 1. Blok šeme svih procesa do kojih može doći pri plastičnoj preradi na povišenim temperaturama [3,6].

U toku pauze se mogu nastaviti procesi rekristalizacije započeti u toku provlaka (metadinamička rekristalizacija) ili otpočeti statičkim uslovima (statičko oporavljanje ili statička rekristalizacija), odnosno statičko taloženje. U slučaju kada se rekristalizacija završi, a pre finalnog hlađenja, u niskougleničnim čelicima može doći do rasta zrna.

Cilj prerade mikrolegiranih čelika kontrolisanim valjanjem je dobijanje trake koja ima homogenu sitnozrnu strukturu, a postiže se valjanjem u tačno određenim temperaturnim područjima [2,7,8,9]. Niskouglenični mikrolegirani čelici se prerađuju jednom od sledećih tehnologija: (i) rekristalizaciono kontrolisano valjanje (RCR), (ii) klasično kontrolisano valjanje (CCR), (iii) dinamičko rekristalizaciono kontrolisano valjanje (DRCR), (iv) valjanje u dvofaznoj oblasti. Shematski prikaz temperaturnog režima valjanja niskougleničnih mikrolegiranih čelika na povišenim temperaturama je dat na slici 2 [2,7,8,9].

Rekristalizaciono kontrolisano valjanje – predvaljanje i završno valjanje se izvode na višim temperaturama, tj. u temperaturnom području u kome ne dolazi do termičkog taloženja te je statička rekristalizacija potpuna između prevlaka. Koristi se za dobijanje debelih limova. Modifikaciju ove tehnologije prati ubrzano hlađenje.

Klasično kontrolisano valjanje – predvaljanje se takođe izvodi u temperaturnom području u kome je statička rekristalizacija potupna, a završno valjanje na nižim temperaturama, tj. u temperaturnom području u kome je statička rekristalizacija između provlaka sprečena reakcijom termičkog taloženja. Kako je statička rekristalizacija sprečena, posle poslednjeg provlaka se dobija austenitno zrno veoma male veličine unutar koga se mogu javiti dvojnici deformacije, prelazne trake i druga mesta koja pored granica austenitnih zrna i subzrna služe kao mesta nukleacije ferita u toku hlađenja. U zavisnosti od sadržaja legirajućih elemenata, temperature završnog valjanja i debljine trake, moguće je dobiti toplovaljane trake sa veoma širokim opsegom čvrstoće i žilavosti. Dodatno, primenom ubrzanog hlađenja, ove osobine je moguće još poboljšati.



Slika 2. Shematski prikaz temperaturnog režima valjanja niskougleničnih mikrolegiranih čelika na povišenim temperaturama [2,7,8,9].

Dinamičko rekristalizaciono kontrolisano valjanje – predvaljanje se izvodi u temperaturnom području u kome je statička rekristalizacija potupna, a završno valjanje u temperaturnom području u kome je statička rekristalizacija sprečena, a ukupni stepen deformacije je znatno veći nego u slučaju CCR. U toku završnog valjanja dolazi do akumuliranja deformacije iz provlaka u provlak, što omogućava postizanje kritičnog stepena deformacije za dinamičku rekristalizaciju. Na ovaj način se dobija traka sa izuzetno sitnim austenitnim zrnom koje će se transformisati u još sitnije feritno zrno. Praktično ograničenje ove tehnologije je snaga posljednjih valjačkih stanova, tj. da li je moguće tehnički postići zahtevane sile.

Valjanje u dvofaznoj oblasti – predvaljanje se izvodi u temperaturnom području u kome je statička rekristalizacija potupna, a završno valjanje u dvofaznom području u kome je austenit nerekrstalisan, dok se veličina feritnog zrna smanjuje naizmeničnim deformacijama i rekristalizacijama. Ova izmena u tehnologiji je obezbedila nešto niže sile valjanja (otpor deformaciji ferita je niži od nerekrstalisanog austenita na temperaturama bliskim 800°C). Dodatno, pored intenzivnije rafinacije finalne feritne strukture, dobiju se feritna zrna koja su homogenija po veličini. Ključno ograničenje ove tehnologije je mogućnost kontrola parametara proizvodnje kako se ne bi pojavila nehomogenost u veličini zrna, a time i smanjenje žilavosti.

Ispitivanjem je utvrđeno da niobijum i vanadijum veoma efikasno usporavaju/sprečavaju rekristalizaciju, kako prisustvom u čvrstom rastvoru tako i preko formiranih taloga ovih elemenata u toku samog valjanja, pre svega nitrida i/ili karbida. Slične efekte pokazuje i prisustvo titana, ali je sadržaj titana optimizovan na 0,010–0,015%, isključivo sa ciljem sprečavanja rasta austenitnog zrna u toku zavarivanja u zoni pod uticajem toplote.

Da bi se izvršila optimizacija procesa toplog valjanja, isptivan je uticaj procesa parametara na zavisnosti koje opisuju otpor deformaciji na povišenim temperaturama, jednačina (1) [2,6,10-15].

$$Z = \exp\left(\frac{Q_{HW}}{RT}\right) = A_3 \cdot \left[\sinh(\quad)\right]^n$$

gde su:

σ – napon, Mpa

A_3, α i n' – konstante,

Z – Zenice-Hollomonov parametar,

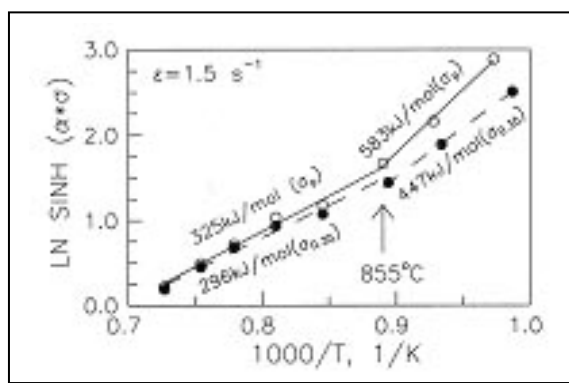
$*$ – brzina deformacije,

T – temperatura, K,

R – univerzalna gasna konstanta, $8,315\text{J/mol}\cdot\text{K}$,

Q_{HW} – prividna aktivaciona energija za toplu plastičnu deformaciju J/mol.

Uticao temperature ispitivanja. U velikom broj slučajeva, Q_{HW} – prividna aktivaciona energija za toplu plastičnu deformaciju je razmatrana kao konstanta za fitovanje jednačine (1), bez detaljnijeg istraživanja, fizičkog smisla [14,15]. U proračunima je nekritički korišćena jedna vrednost za veoma širok opseg temperatura, bez uzimanja u obzir koji od procesa sa slike 1 se odvija. Ovaj prilaz je značajno promenjen jer je utvrđena aktivaciona energija za toplu plastičnu deformaciju Q_{HW} zavidi od temperaturnog područja za koji je određena. Tipična zavisnost je data na slici 3. [10,13,16,17].



Slika 3. Vrednosti Q_{HW} u zavisnosti od temperature prema jednačini (1) V-čelika, pri konstantnoj brzini deformacije $*=1,5\text{ s}^{-1}$ [10,13,16,17].

Vrednost prividne aktivacione energije za toplu plastičnu deformaciju na višim temperaturama je veoma bliska vrednosti energije aktivacije za samodifuziju čistog železa [18], što ukazuje da ne postoje dodatne prepreke za kretanje dislokacije. Sa druge strane, značajno veća vrednost prividne aktivacione energije za toplu plastičnu deformaciju na nižim temperaturama je posledica sprečene rekristalizacije usled izdvajanja taloga.

Uticao dužine pauze između provlaka nije bilo moguće oceniti na osnovu tradicionalnog prilaza zasnovanog na ispitivanju serije izotermalnih testova, već je bilo potrebno koristiti višestepene testove [3,10-13,16,17], slika 4. Zato se koristi modifikovani Borato test [19,20] koji se sastoji od 15-20 provlaka sa konstantnim stepenom i brzinom deformacije i dužinom pauze između provlaka. U toku testa se kontinuirano snižava temperatura sa jednakim korakom sniženja između provlaka, najčešće 25°C . (Broj provlaka zavisi od zahteva testa). Za svaki provlak se dobija pojedinačna kriva tečenja, odnosno skup svih krivih daje rezultat testa, slika 4a. Već iz oblika krivih za prve i poslednje provlake jasna je razlika u ponašanju na visokim i niskim temperaturama. Na visokim temperaturama je oblik veoma sličan, jer je reč o oblasti potupune rekristalizacije, mala brzina deformacionog ojačavanja; razlika u granici tečenja je samo posledica razlike u otporu deformaciji na različitim temperaturama. U oblasti nižih temperatura, provlake karakteriše značajno veća brzina deformacionog ojačavanja, što ukazuje da rekristalizacija u pauzi između provlaka nije potpuna, već delimična. Tako je porast granice tečenja iz provlaka u provlak posledica i razlike u otporu deformaciji na različitim temperaturama, ali i sprečavanja rekristalizacije.

Na osnovu poznatih vrednosti naprezanja i deformacije, izračunava se, trapeznim pravilom, srednje naprezanje (MFS) za svaki prevlak, prema jednačini (2), [3,10,11,13,19,20] i predstavlja u funkciji recipročne vrednosti apsolutne temperature svakog provlaka, slika 4b i 4c.

$$MFS = \frac{1}{\varepsilon_u} \sum_{\varepsilon=0}^{\varepsilon_u} \frac{(\sigma_i + \sigma_{i+1}) \cdot (\varepsilon_{i+1} - \varepsilon_i)}{2}, \text{MPa}$$

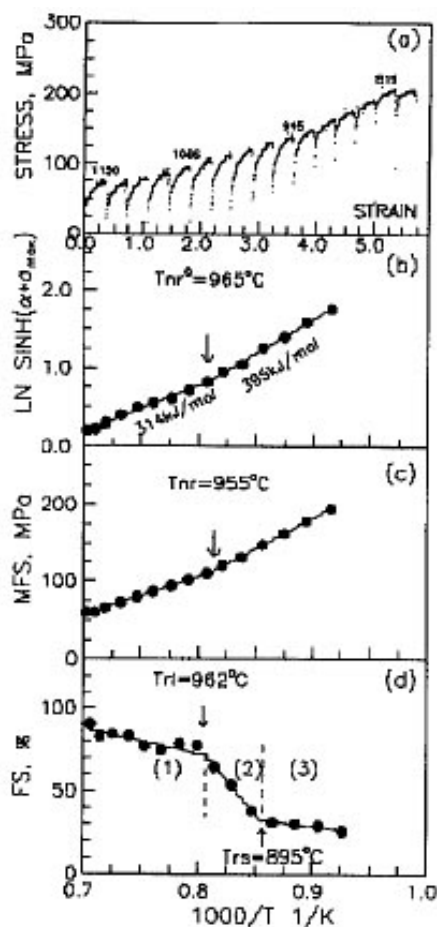
gdje je:

MFS – srednje naprezanje, Mpa

σ_i i σ_{i+1} – naprezanje na početku i na kraju inkrimenta deformacije, Mpa

ε_i i ε_{i+1} – stepen deformacije na početku i na kraju deformacije

ε_u – ukupni stepen deformacije za jedan provlak

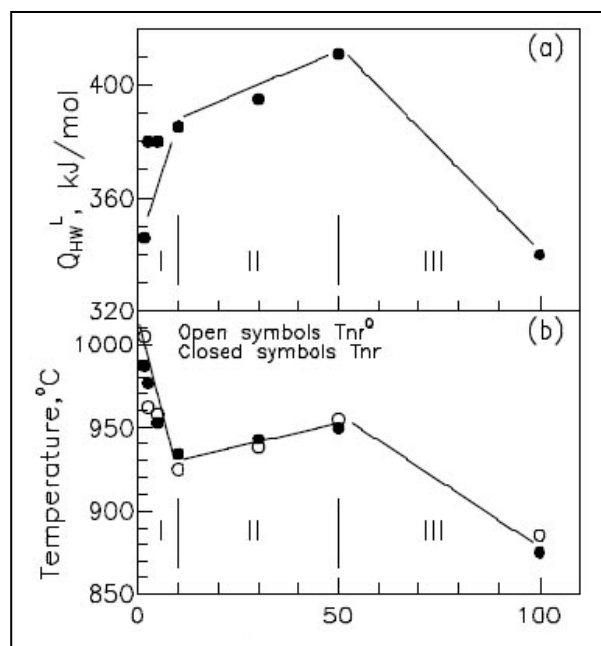


Slika 4. Kriva deformacije Nb-čelika dobijene u toku višestepenog anizotermalnog testa uvijanjem u temperaturnom opsegu 1150-755°C (stepen deformacije po provlaku $\varepsilon_i = 0,35$; brzina deformacije $\dot{\varepsilon} = 1,5 \text{ s}^{-1}$; dužina pauze $\tau = 5 \text{ s}$; brzina hlađenja $5,0^\circ\text{C/s}$). (a) kriva naprezanje-deformacija; (b) zavisnost maksimalnog naprezanja σ_{max} , od temperature, prema jednačini (1); (c) zavisnost srednjeg naprezanja, MFS, od temperature, prema jednačini (2); (d) zavisnost parametara omekšavanja, (jednačina 61) od srednje temperature između dva provlaka [2,11,13].

Zato se na zavisnostima napona od temperature mogu razikovati dva regiona, onaj na višim temperaturama (u kome je rekristalizacija kompletna) i onaj na nižim temperaturama (delimična i potupno sprečena rekristalizacija), slika 4b i 4c. Na ovaj način se u preseku ovih zavisnosti može definisati temperatura ispod koje je rekristalizacija sprečena, Tnr temperatura. Ova temperatura je veoma značajna za tehnologiju valjanja, jer predstavlja temperaturu ispod koje mora da se obavi završno valjanje, slika 2.

Kako je ključni faktor koji utiče na strukturu stepen rekristalizacije, urađena je serija testova uvijanjem na plastomeru, u kojima je pauza varirana od 1.8s (najkraća pauza na završnoj pruzi valjaonice toplovaljanih traka u Smederevu) do 100s. Vrednosti Q_{HW} , dobijene za visokotemperaturno područje, nezavisno od vrste testa (kontinuirani ili višestepeni), sastava čelika, dužine pauze između provlaka (višestepeni testovi) pokazuju dobro slaganje i bliske su aktivacionoj energiji za samodifuziju u austenitu. Nasuprot ovome, u niskotemperaturnom području, ponašanje čelika je bilo različito. Tipična zavisnost prividne aktivacione energije za toplu preradu i T_{nr} temperature od dužine pauze između provlaka na slikama 5a i 5b respektivno. Ovakvo ponašanje je dovedeno u vezu sa mehanizmom uticaja na statičku rekristalizaciju. U oblasti pauza kraćih od 10s (oblast I na slici 5), statička rekristalizacija se efikasno sprečava produženjem pauze. Kako je vreme za taloženje veoma kratko, glavni mehanizam sprečavanja rekristalizacije je prisustvo mikrolegirajućih elemenata, pre svega niobijuma, u čvrstom rastvoru. Zato se T_{nr} smanjuje, a Q_{HW} povećava jer se povećava otpor deformaciji. U oblasti II (pauza između 10 i 50s), dolazi do taloženja niobijum karbonitrida po granicama zrna i subzrna; produženjem pauze, taloženje je moguće i na višim temperaturama, što rezultira porastom T_{nr} temperature.

Sa druge strane, usled daljeg sprečavanja statičke rekristalizacije, Q_{HW} se povećava. Kada se vreme pauze produži na više od 50s, dolazi do prestarevanja prisutnih taloga, što dovodi do slabljenja sprečavanja rekristalizacije, te se sada istovremeno snižavaju i T_{nr} temperatura i Q_{HW} [3,10,11,13,16,17].



Pauza između provlaka, s

Slika 5. Zavisnost prividne aktivacione energije za toplu plastičnu preradu u niskotemperaturnom području Q_{HW} i T_{nr} temperature od dužine pauze između provlaka za Nb mikrolegirani čelik [3,10,11,13,16,17].

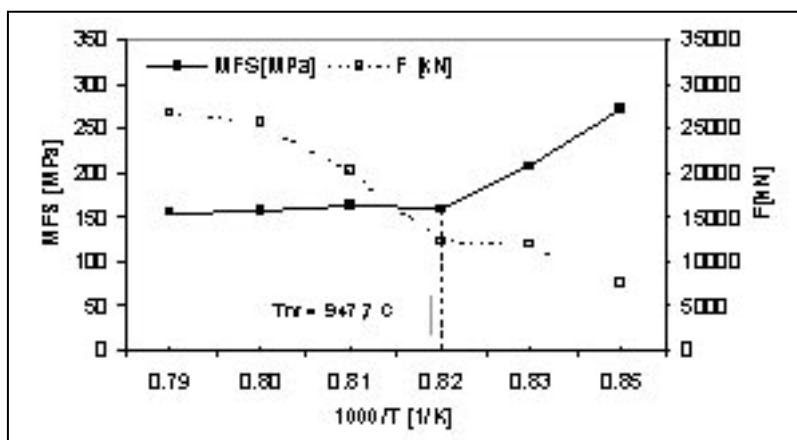
Ispitivanje u industrijskim uslovima. Srednji napon tečenja je moguće izračunati i u industrijskim uslovima. Vrednosti su izračunate za svaki provlak na završnoj pruzi Valjaonice toplovaljanih traka Železare u Smederevu. Koristeći postojeći model za proračun temperature u toku završnog valjanja [21], moguće je konstruisati zavisnosti srednjeg napona tečenja od temperature i odrediti T_{nr} temperaturu na završnoj pruzi, slika 6. Na ovaj način je određena T_{nr} temperatura, te je primenom višestepene regresione analize određana zavisnost T_{nr} temperature sa hemijskim sastavom čelika i (mas.% Nb, C, Mn) i glavnim parametrima procesa završnog valjanja trake (stepen deformacije, ϵ , brzina deformacije, ω i pauza između provlaka, τ), jednačina (3) [22-25].

$$T_{nr} = 932.36 + 1091.43 [\text{Nb}] - 15.65 [\text{C}] + 13.8 [\text{Mn}] - 13.94 - 0.22 - 11.93 \quad (3)$$

U cilju smanjenja troškova proizvodnje i povećanja produktivnosti, na bazi obrade podataka o preko 2400 toplovaljanih traka u toploj valjaonici Železare u Smederevu, razvijen je jednostavan model za izračunavanje granice tečenja i zatezne čvrstoće mikrolegiranih čelika, u funkciji sastava (sadržaj C, Mn, Nb i V), parametara procesa (temperature završnog valjanja, T_{ZV} i namotavanja, T_N) i debljine trake (H_{TVT}) [26]:

$$\sigma_0 = 507,061 + 1439,832[\text{Nb}] + 888,846[\text{V}] - 363,996[\text{C}] + 78,188[\text{Mn}] - 0,122T_{ZV} - 0,078T_N - 9,217H_{TVT}, \text{ MPa} \quad (4)$$

$$\sigma_m = 489,00 + 679,113[\text{Nb}] + 1038,04[\text{V}] - 547,729[\text{C}] + 87,606[\text{Mn}] - 0,030T_{ZV} - 0,102T_N - 5,440H_{TVT}, \text{ MPa} \quad (5)$$

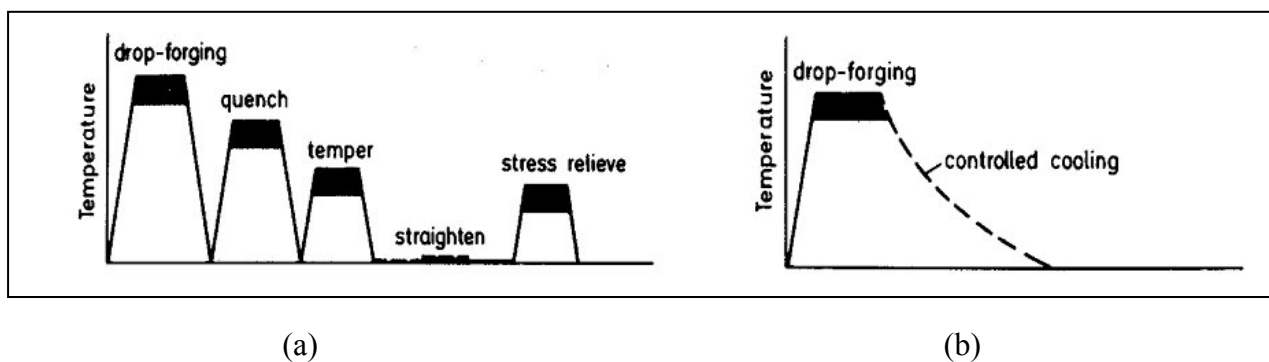


Slika 6. Zavisnost srednjeg napona tečenja, MFS, od recipročne vrijednosti apsolutne temperature u stanovima za vreme završnog valjanja 0,034Nb-0,108C-1,00Mn čelika debljine 4,16 mm [22,24].

Na osnovu ovih istraživanja, osvojena je proizvodnja toplovaljanih traka izrađenih od mikrolegiranih čelika zaključno sa kvalitetom X 70. Zahtevana čvrstoća se postiže varijacijom sadržaja ugljenika (0.05-0.10%), mangana (0.5-1.5%), i niobijuma i vanadijuma u rasponima 0.02-0.045 i 0.03-0.08, respektivno. Sadržaj titana je konstanta 0.015% zbog poboljšanja zavarljivosti.

Transformaciono ponašanje mikrolegiranih čelika

Druga namena mikrolegiranih čelika je rezultat potrebe da se smanje proizvodni troškovi poboljšanja (kaljenih i otpuštenih) čelika [4,5,27,28]. Oni se posle kovanja kale, otpuštaju, a često i ispravljaju i žare sa ciljem uklanjanja zaostalih napona, slika 7a. U cilju sniženja proizvodnih troškova, nije bilo moguće modifikovati postojeći hemijski sastav, već se moralo pristupiti novoj filozofiji dobijanja zadovoljavajuće žilavosti. Rešenje je pronađeno u modifikaciji sastava koji će se obezbediti da se direktno nakon transformacije austenita dobije struktura sa zadovoljavajućim osobinama. Tako su razvijeni srednjegljenični mikrolegirani čelici koji nakon kovanja, u uslovima kontinuiranog hlađenja (hlađenje na mirnom vazduhu – normalizacija), dobijaju finalnu strukturu, slika 7b.

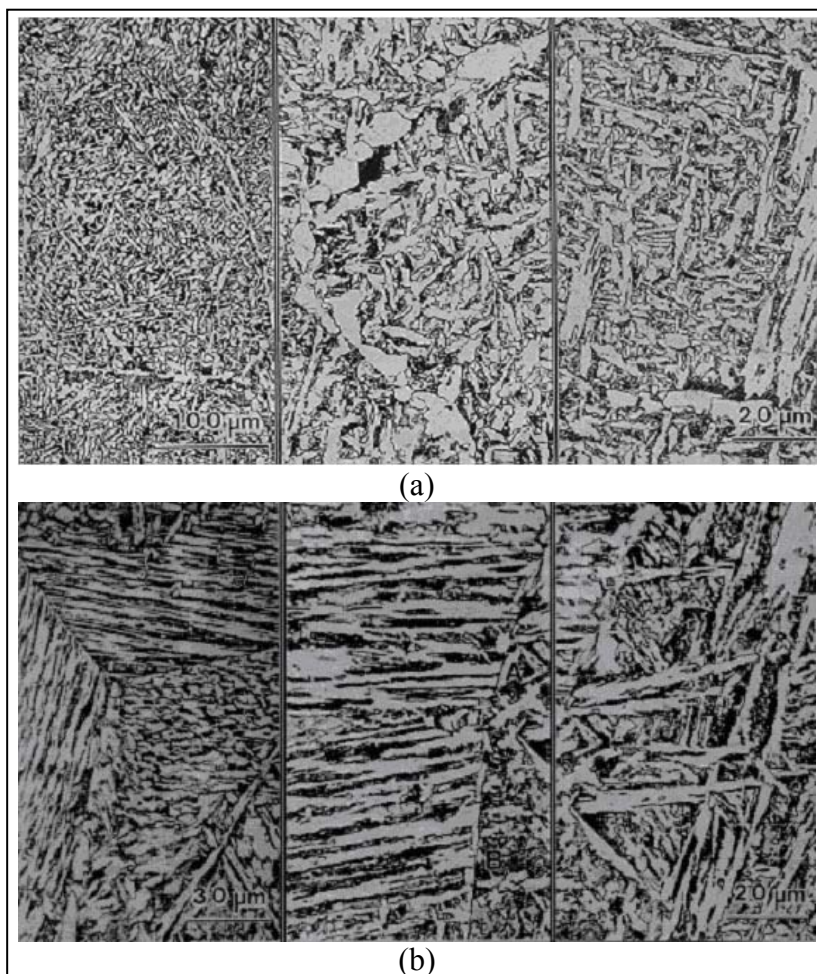


Slika 7. Šema procesa prerade (a) kaljenih i otpuštenih čelika; i (b) srednjeugljениčnih mikrolegiranih čelika [5,27-30].

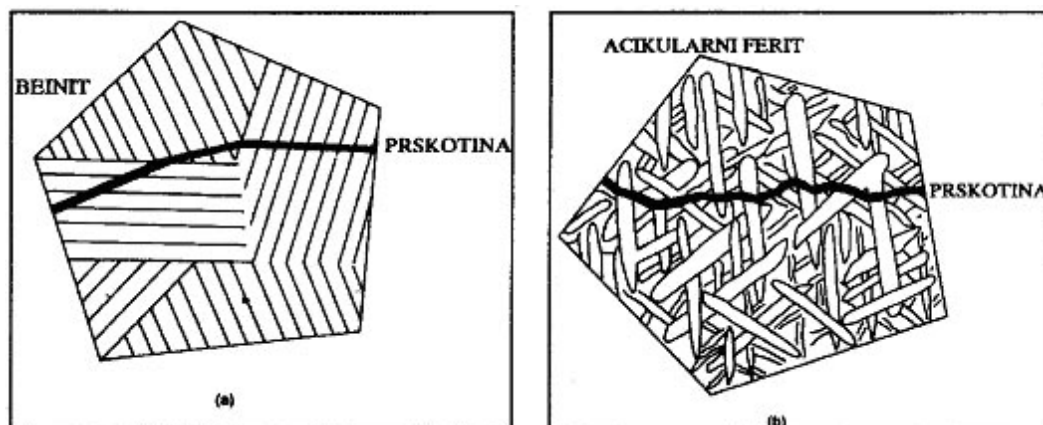
Glavna prednost srednjeugljениčnih mikrolegiranih čelika nad klasičnim kaljenim i otpuštenim čelicima je značajno niža cena.

Pošto se srednjeugljениčni mikrolegirani čelici ne deformišu na temperaturama na kojima je sprečena rekristalizacija, zadovoljavajuća žilavost se ostvaruje time što pri hlađenju nastaju faze koje imaju dobru žilavost – acikularni ferit, slika 8a [27,28]. U acikularnom feritu, prilikom rasta, prskotina nailazi na veoma veliki broj granica zrna, tako da se žilavost povećava. Sa druge strane, ako se pri hlađenju, dobije struktura u kojoj prevladavaju beinitni snopovi, slika 8b [27,28], prskotina se veoma lako kreće kroz čelik, tako da je postignuta žilavost neprihvatljivo mala.

Ilustracija mehanizma kretanja prskotine u ovim strukturama je data na slici 9 [31,32].

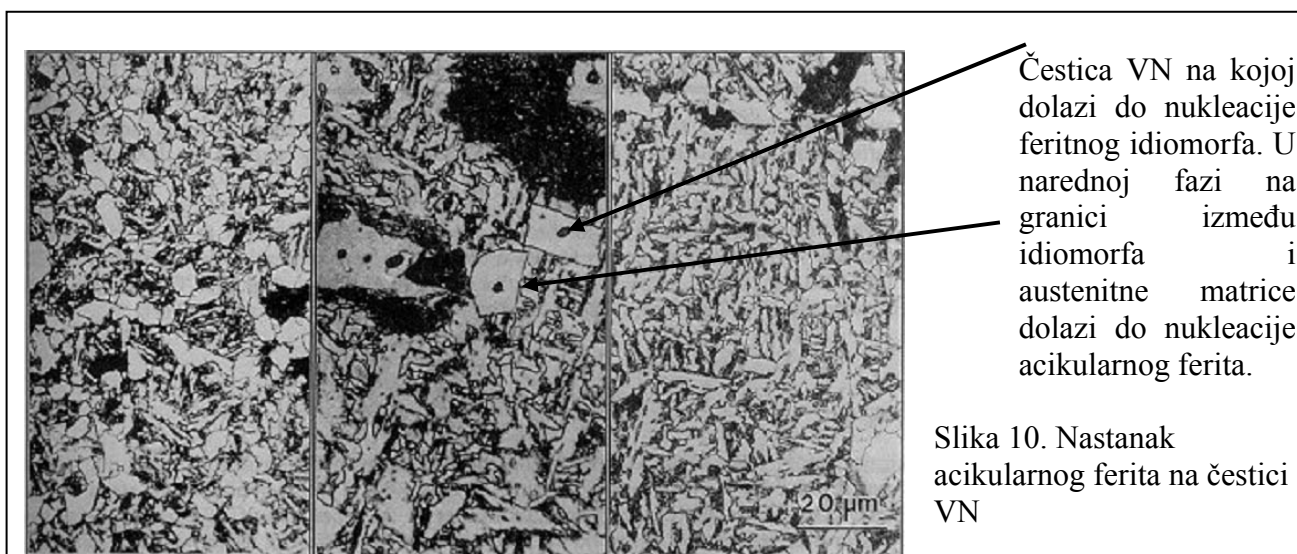


Slika 8. Mikrostrukture u kontinuirano hlađenim srednjeugljениčnim mikrolegiranim čelicima: (a) acikularni ferit; (b) beinitni snopovi [27,28]



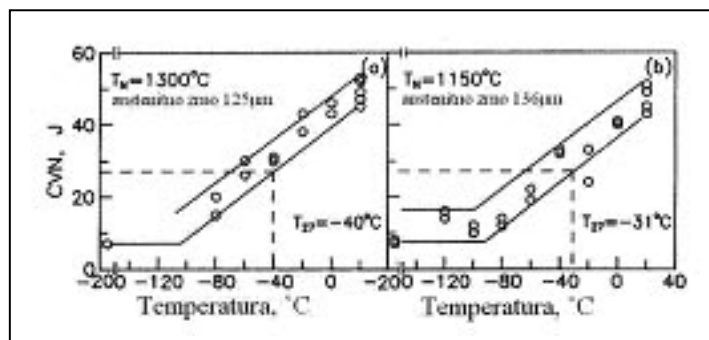
Slika 9. Mehanizam kretanja prskotine kroz različite strukture [31]

Poznato je da beinitni snopovi i acikularni ferit nastaju u toku kontinuiranog hlađenja u približno istom temperaturnom intervalu, ali se razlikuju mesta na kojima dolazi do nukleacije. Smatra se da se beinitni snopovi nukleiraju isključivo na granicama prelaznog zrna, dok se acikularni ferit nukleira na česticama tj., da se na česticama intragranularno nukleiraju alotriomorfi ferita, a da se na graničnoj površini između nastalog ferita i austenitne osnove nukleira acikularni ferit. Utvrđeno je da se intragranularni ferit dominantno stvara na česticama vanadijum nitrida. Zato je pravac razvoja ovih čelika bio usmeren na pogodno legiranje koje će u uslovima kontinuiranog hlađenja kontrolisati kinetiku izdvajanja VN u austenitnoj matrici, tj. formiranje velikog broja preferentnih mesta za kasniji nastanak acikularnog ferita prilikom razlaganja austenita, slika 10 [27,28].



Slika 10. Nastanak acikularnog ferita na čestici VN

Optimalni sastav ovog čelika sadrži 0.25%C, 0.12%V, 1.44Mn, 120ppm N i 0.01%Ti. Ovaj čelik se koristi za izradu klipnih šipki za pumpanje nafte i pored dobrih mehaničkih osobina, ima dobru otpornost na koroziju u prisustvu vodonik sulfida i slobodnog sumpora. Pošto je reč o čeliku koji se prerađuje kovanjem na povišenim temperaturama, dodatak titana ima jedini cilj da kontroliše veličinu zrna u zoni uticaja toplote. Takođe, utvrđeno je da na strukturu ovih čelika veliki uticaj imaju svi elementi koji utiču na prokaljivost, sadržaj Mo i Mn, prvenstveno. Za ove čelike su određeni dijagrami kontinuiranog hlađenja i dijagram prelazne temperature, koji je prikazan na slici 11.



Slika 11. Dijagram prelazne temperature u srednjeugljeničnim mikrolegiranim čelicima [27,28]:

- (a) 0.3%C; 0.33%Si; 1.5%Mn; 0.1V; 0.012%N; 0.01%Ti; 0.007%S
 (b) 0.3%C; 0.33%Si; 1.5%Mn; 0.1V; 0.012%N; 0.01%Ti; 0.006%S

Dodatak titana obezbeđuje približno istu veličinu zrna na 1300°C kao i u čeliku bez titana na 1150°C. Na ovaj način se obezbeđuje mogućnost kovanja na višoj temperaturi, što je povezano sa manjim otporom deformaciji (manje sile kovanja), odnosno manjim habanjem alata. Trenutno, istraživanja su usmerena na određivanje dijagrama izotermalnog razlaganja oba čelika, sa ciljem da se utvrde mehanizmi transformacije austenita i da se utvrde mehanizmi nastanka i rasta prskotine u tipičnim strukturama. U ovom trenutku, ovi čelici ispunjavaju zahteve za upotrebu, ali još nisu dostigli žilavost poboljšanih čelika, te se istraživanja nastavljaju.

Umesto zaključka

U radu su predstavljene aktivnosti na razvoju nisko i srednje ugljeničnih mikrolegiranih čelika na Katedri na Tehnološko metalurškom fakultetu Univerziteta u Beogradu za poslednjih 35 godina. Kontinuirano istraživanje i unapređivanje znanja je omogućilo značajnu praktičnu primenu i industrijsku proizvodnju mikrolegiranih čelika namenjenih konstrukcijama, cevovodima, delovima motora, vozila, vagona.

Zahvalnica

U ime saradnika Katedre za fizičku metalurgiju TMF-a zahvaljujem se velikom broj saradnika iz Železare Smederevo, Železare Nikšić, Instituta za crnu metalurgiju Nikšić, Vojnotehničkog instituta Vojske Srbije u Beogradu, Instituta za nuklearne nauke Vinča, Naftne industrije Srbije na saradnji u različitim aktivnostima u razvoju mikrolegiranih čelika.

Literatura:

- [1] Steel Statistical Yearbook 2011, Worldsteel Committee on Economic Studies, Brussels (2011)
- [2] T.Gladman, The Physical Metallurgy of Microalloyed Steels, The Institute of Materials, London (1996)
- [3] N.Radović, Termomehanička prerada mikrolegiranih čelika, Monografija, SIMS, Beograd (2006)
- [4] Fundamentals of Microalloying Forging Steels, Eds. G. Krauss and S.K.Banerji, TMS, Warrendale, USA (1987)
- [5] Fundamentals and Applications of Microalloying Forging Steels, Eds. C.J.Van Type, G.Krauss and D.K.Matlock, TMS, Warrendale, USA (1996)
- [6] C.M.Sellars, Mathematical Modelling of Hot Rolling of Steel, Ed. S.Yue, CIMM, Montreal, Canada (1990) 1-18

- [7] T.Tanaka, International Metallurgical Reviews, 36 (1981) 185-212
- [8] F.Siciliano, J.J.Jonas, Materials Transactions A, 31A (2000) 511-530
- [9] N.Radović, Đ.Drobnjak, Development of Steels for fabrication of welded structures with improved safety, Zavarivanje i zavarene konstrukcije, XLVI (2001) 81
- [10] Đ.Drobnjak, N.Radović, M.Anđelić, A.Koprivica, Effect of Test Variables on Apparent Activation Energy for Hot Working and Critical Recrystallization Temperatures of V-microalloyed Steel, Steel Research, 68 (1997) 306
- [11] N.Radović, Đ.Drobnjak, Effect of interpass time and cooling rate on apparent activation energy for hot working and critical recrystallization temperatures of Nb-microalloyed steel, ISIJ Internationa, 39 (1999) 576
- [12] Đ.Drobnjak, N.Radović, A Contribution to the Study of Dynamic Recrystallization in a Nb/Ti Microalloyed Steel, Materials Science Forum, 113-115 (1993) 411
- [13] Đ.Drobnjak, N.Radović, B.Đurić Effect of Test Variables of Q_{HW} and T_{nr} , 37th MWSP Conference Proceedings, ISS (1995) 759
- [14] C.M.Sellars and W.J.McTegart, Acta Metallurgica, 14, (1966) 1136-1138
- [15] C.M.Seelars, The Physical Metallurgy of Hot Working, The Metals Society, London (1980) 3
- [16] Đ.Drobnjak, A.Koprivica, N.Radović M.Anđelić Apparent Activation Energy for Hot Working of Vanadium Microaaloyed Steel, Jorunal of Serbian Chemical Society, 61 (1996) 609 ISSN:0352-5139
- [17] N.Radović, Correlation Between Apparent Activation Energy for Hot Working and Temperature of No Recrystallization in Microalloyed Steels, Materials Science Forum, 426-432 (2003) 1553-1558
- [18] F.S.Buffington, Hirao and M.Cohen, Acta Metallurgica, 9 (1961) 434-439
- [19] F.Boratto et al., The Science and Technology of Flat Rolling, Deauville, France (1987) F20.1-F20.6
- [20] F. Boratto et al., Physical Metallurgy of Thermomechanical Processing of Steels and Other Metals, (THERMEC88), Ed. I.Tamura, ISIJ, Tokyo (1988) 383 391
- [21] Siemens Process Automation of Hot Strip Mills, 14/MHI, PSCF00-80, Železara Smederevo (1984)
- [22] N.Radović, G.Vukićević, D.Jeremić, Đ.Drobnjak, Determination of TNR Temperature on Laboratory and Industrial Scale, Journal of Materials Processing Technology, 172 (2001) B.9.1-B.9.10
- [23] N.Radović, G.Vukićević, D.Jeremić, Đ.Drobnjak, Termomehanička prerada mikrolegiranih čelika koncerna SARTID: I deo – Simulacija završnog valjanja – određivanje Tnr temperature u laboratorijskim uslovima, Metalurgija, 7 (2001) 13-20 ISSN:0354-6306
- [24] G.Vukićević, N.Radović, D.Jeremić, Đ.Drobnjak, Termomehanička prerada mikrolegiranih čelika koncerna SARTID: II deo – Simulacija završnog valjanja – određivanje Tnr temperature u laboratorijskim uslovima, Metalurgija, 7 (2001) 151-158 ISSN:0354-6306
- [25] N.Radović, G.Vukićević, D.Jeremić, Đ.Drobnjak, Termomehanička prerada mikrolegiranih čelika koncerna SARTID: III deo – Poređenje Tnr temperatura određenih u laboratorijskim i industrijskim uslovima, Metalurgija, 8 (2002) 31-38 ISSN: 0354-6306
- [26] N.Radović, G.Vukićević, D.Jeremić, Đ.Drobnjak, Mathematical Modelling of Mechanical Properties of Microalloyed Hot Strip, Proceedings of the Int.Conf on Thermomechanical Processing: Mechanics & Control, Eds. E.J.Palmiere, M.Mahfouf and J.Beynon, 23-26 June Sheffield, Univesity of Sheffield, 413-417
- [27] Đ.Drobnjak, A.Koprivica, Morphology And Properties Of Continuously Cooled Bainite In Medium Carbon V-Microalloyed Steels, Fundamentals and Applications of Microalloying Forging Steels, Eds. C.J.Van Type, G.Krauss and D.K.Matlock, TMS, Warrendale, USA (1996) 46

- [28] Đ.Drobnjak, Morfologija i osobine kontinuirano hlađenih beinita u srednjeugljeničnim V mikrolegiranim čelicima, *Metalurgija-Journal of Metallurgy*, 3 (1996), 107
- [29] D.Glišić, N.Radović, A.Koprivica, A.Fadel, Đ.Drobnjak, Influence of Reheating Temperature and Vanadium Content of Transformation Behavior and Mechanical Properties of Medium Carbon Forging Steels, 50 (2010) 601-606 ISSN: 0915-1559
- [30] N.Radović, A.Koprivica, D-Glišić, A.Fadel. Đ.Drobnjak, "Influence of V and N on Transformation Behavior and Mechanical Properties of Medium Carbon Forging Steels", *Mater.Sci.Forum*, 638-642 (2010), 3459-3464 ISSN: 0255-5476
- [31] B.L.Bramfitt and J.G.Speer, A.Perspective On The Morphology Of Bainite, *Metallurgical and Materials Transactions*, 21A (1990) 817-829
- [32] N.Radović, Đ.Drobnjak, A.Koprivica, H.Hraam, Mechanisms of Fracture in mediumcarbon V microalloyed steels, *European Conference of Fracture 16*, Ed.E.E.Gdoutos, Alexandroupolis, Greece, June 3-7, Springer –ESIS (2006) 907 ISSN: 1-402-4971-4

**TRŽIŠNA KONKURENTNOST PROIZVODA IZRAĐENIH
OD NOVIH MATERIJALA I MOGUĆNOSTI PLASMANA
NA INOSTRANA TRŽIŠTA**

**MARKET COMPETITION OF PRODUCTS MADE OF
NEW MATERIALS AND OPPORTUNITY OF PLACING
THEN TO FOREIGN MARKETS**

Mr. Fadil Novalić
TMD a.i. Gradačac,
BiH

TRŽIŠNA KONKURENTNOST PROIZVODA IZRAĐENIH OD NOVIH MATERIJALA I MOGUĆNOSTI PLASMANA NA INOSTRANA TRŽIŠTA

MARKET COMPETITION OF PRODUCTS MADE OF NEW MATERIALS AND OPPORTUNITY OF PLACING THEM TO FOREIGN MARKETS

Mr. Fadil Novalić, TMD a.i. Gradačac, BiH

UVOD

Pregled na ovu temu je ograničen samo na automobilsku industriju.

U tom slučaju moramo navesti osnovne karakteristike automobilske industrije, a to su:

- Smjena unificirane prema diverzificiranoj tražnji (Watanabe: ovo je kraj FORDOVOG MODELA). Ukupna visoka tražnja, ali vrlo različitih, gotovo individualiziranih automobila.
- Stalno smanjenje težine automobila
- Stalno povećanje energetske performansi automobila (downsizing)
- Stalno povećanje ekološke prihvatljivosti automobila

Sve ovo izaziva dramatične promjene u produkcijsko-dobavnom lancu:

- Sa diverzifikacijom rasta, tipova i opreme automobila, ide i diverzifikacija inputnih materijala, količina i kvaliteta – tendencija je sa standardnog i masovnog ka specijalnom i u malim količinama sa puno podtipova.
- Stalno smanjenje težine automobila podrazumijeva takođe zamjenu standardnih za specifične lakše materijale.
- Povećanje energetske performansi ima za posljedicu povećanu radnu temperaturu i temelji se isključivo na upotrebi vatrootpornih materijala.
- Ekološku prihvatljivost pred one koji se bave resursima postavlja novi zadatak recikliranje otpadnih i upotrijebljenih materijala, a da pri tome ne padaju osnovne performanse takvih novostvorenih materijala.

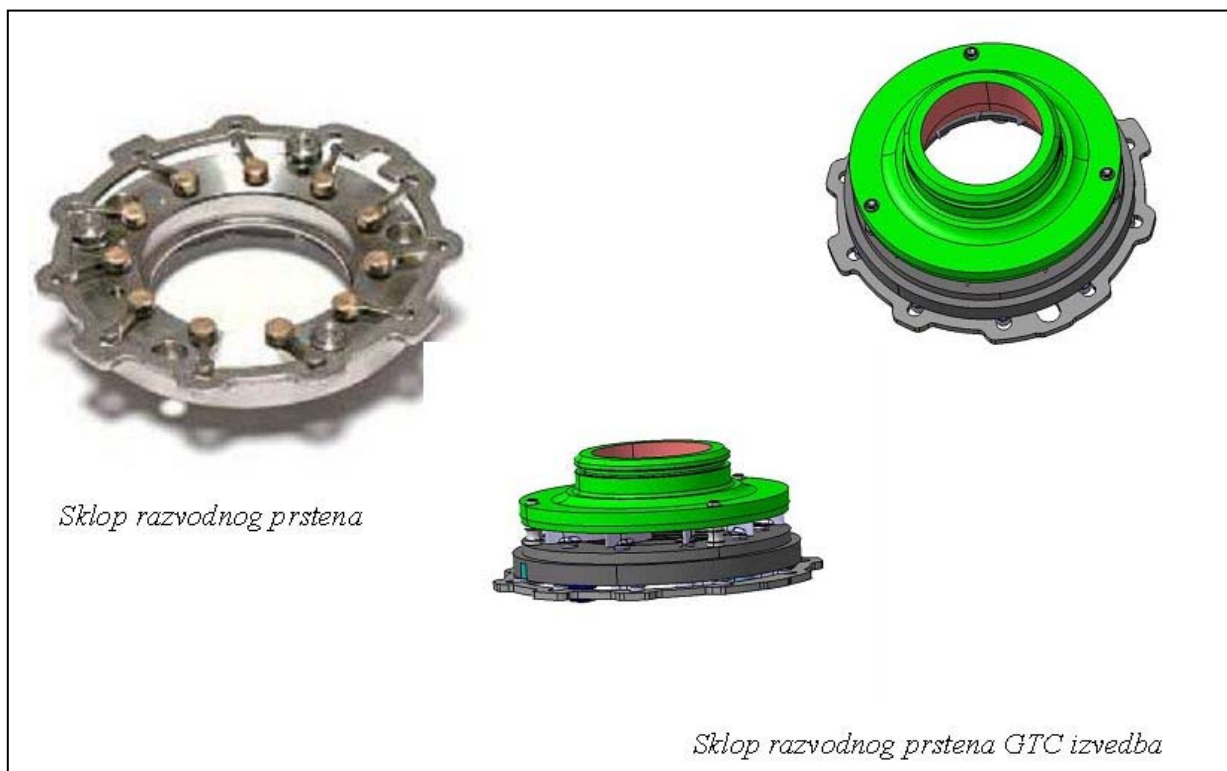
Konačno, moramo navesti i ključnu karakteristiku današnjeg ogromnog automobilske lanca koja neizostavno važi za sve učesnike u tom lancu, a to je:

KONKURENTNOST

Konkurentnost se postiže preko faktora konkurentnosti, a to su:

Funktionalnost produkta	Materijali	Tehnologija pretvorbe produkta	Organizacija procesa	Upotreba energije i otpadnih materijala
<ul style="list-style-type: none"> - Fem analize - Crash - RPT - Mehatronika 	<ul style="list-style-type: none"> - Standardni metali - Specijalne legure - Vještački materijali 	<ul style="list-style-type: none"> - Automatizacija procesa - Ef. upotreba alata - Maximiz. produktivnosti - Finetool TMD Ai Gradačac - MIM tehnologija 	<ul style="list-style-type: none"> - 6σ - lean manuf. - Kanban - Just in time - 5S 	<ul style="list-style-type: none"> - Što manja specif. upotreba energije - Recirkulacija otpadnih mat. u procesu

II KONKRETIZACIJA



Hem.el	Disk SA		Prsten		Prsten		PIPE		INSERT		INSERT	
	X8CrNiSi25-21		PL 23		PL 33		X15CrNiSi		X40CrSiWnb		HK 30	
	BWS 33013-3		5416		5391		6164		5419		8365	
	Sadržaj		Sadržaj		Sadržaj		Sadržaj		Sadržaj		Sadržaj	
	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX
Ni	19,0	22,0	12,0	14,0		0,5	11,0	13,0		1,0	19,0	22,0
Cr	24,0	26,0	18,0	21,0	33,0	35,0	19,0	21,0	16,0	18,0	23,0	27,0
C		0,10	0,4	0,7	1,0	1,4		0,20	0,3	0,45	0,25	0,35
Si		1,25	1,8	2,2	1,8	2,1	1,5	2,5	1,0	2,5	0,75	1,75
Mn		2,0		1,5		0,6		2,0	0,5	1,0		1,5
W									1,5	2,2		
Nb									1,3	1,8	1,2	1,5
P		0,045		0,060		0,060		0,045		0,040		0,040
S		0,015	0,20	0,40		0,040		0,030		0,030		0,040
Godišnje potrebe ulaznog materijala (kg)	87.500		1.414.000		80.800		315.000					
Godišnje količine povratnog materijala (kg)	37.500		798.000		45.600		175.000					
Trenutne zalihe povratnog materijala (kg)	25.000		101.000		36.000		136.000					

Hemijski sastav upotrebljivih materijala

Iz ovog primjera proizilazi mogućnost produkcije sljedećih materijala:

- NIMONIC, NITRONIC, PLEUCO23, PLEUCO33, X15, DEKLAK u različitim oblicima: CENTRIFUGALNO LIVENJE, VUČENJE, VALJANJE, kovanje u relativno malim količinama (40-100 tona).

III Zaključak

- Postoji dakle, realna mogućnost izrade novih materijala i njihov najprije posredni plasman na svjetsko tržište putem već dokazanih BiH kompanija. Jednako tako postoji i mogućnost plasmana istih materijala i direktno na slobodno tržište ako se pri tome zadovolje dvije skupine uvjeta:
 - Uvjeti konkurentnosti (koje smo već objasnili) i
 - Uvjeti kvaliteta (dokazivi nizom certifikata, audita, homologacija i primjenjivanih tehnika PPUP – RampUP, kao i potencijal analiza – koja se odnosi na vodstveni i finansijski potencijal.)
- Da bi se došlo do toga očigledno je potrebno provesti restrukturiranje MIZ od čisto naučne ka naučno-produkcijskoj tržišnoj organizaciji.

**UTICAJ OPERATIVNIH PARAMETARA KOROZIJE
NA STARE BALK KEREIRE I NEKE ANALIZE
VJEROVATNOĆE MJESTA NAJPODLOŽNIJIH
KOROZIJI**

**THE OPERATIONAL PARAMETERS INFLUENCING
CORROSION OVER AGEING BULK CARRIES' AND
SOME PROBABILISTIC ANALYSIS OF THE MOST
VULNERABLE MEMBER LOCATION**

**Dr. Sanja Bauk
Mr. Špiro Ivošević
Univerzitet Crne Gore, Fakultet za pomorstvo, Kotor,
R. Crna Gora**

**UTICAJ OPERATIVNIH PARAMETARA KOROZIJE
NA STARE BALK KEREIRE I NEKE ANALIZE VJEROVATNOĆE MJESTA
NAJPODLOŽNIJIH KOROZIJI**

**THE OPERATIONAL PARAMETERS INFLUENCING CORROSION OVER AGEING
BULK CARRIES' AND SOME PROBABILISTIC ANALYSIS OF THE MOST
VULNERABLE MEMBER LOCATION**

Dr. Sanja Bauk, Mr. Špiro Ivošević, Univerzitet Crne Gore, Fakultet za pomorstvo,
Kotor, R. Crna Gora

Abstract:

The paper gives an overview of the operational parameters that influence corrosion deterioration over different ageing bulk carriers' member locations. In the first step, common operational parameters are identified, as well as the vessels' hull structure areas being affected by these parameters. Then, the appropriate matching of the operational parameters and the member locations has been done. By the logical translation of the operational parameters' impacts to the corrosion wear, into the numerical values, some quantitative and qualitative analyses have been realized. Accordingly, the most sensitive zone of ageing bulk carriers' has been identified, and then it is probabilistically treated. All these have been done in order to identify the critical operational parameters and zone(s) of aging bulk carriers, which affect in the greatest extent their structural strength and stability. The insights and conclusions developed through this and the previous analysis upon the ageing bulk carriers' corrosion time-dependant deterioration, are summarized at the end. Some directions toward forthcoming research work in this field have been given, as well.

Key words: bulk carriers, corrosion, operational parameters, member locations, structural strength

1. Introduction

Since the first bulk carrier was built in 1852, forces have been fueled toward the development of these ships. Though, today, they make up about forty percentages of the world's merchant naval fleets, and permanently grow in size and sophistication. Bulk carriers are designed to transport unpackaged, bulk cargos, such as grain, coal, iron ore, cement, etc. These cargos can be very dense, corrosive and/or abrasive, causing serious safety problems like cargo shifting, spontaneous combustion, cargo saturation, and similar. In addition to the previously noted, the use of bulk carriers that are old and have corrosion problems has been linked to the several sinking accidents in 1990s. More precisely, during the period 1990-1997, twenty-five bulk carriers sank, taking with them a great number of crewmen lives. This huge level of loss focused attention on the safety aspects of the bulk carriers, and a great deal was learned. The American Bureau of Shipping concluded that the losses were "directly trouble to failure of the cargo holds structures", and Lloyd's Register of Shipping added that the hull sides could not withstand "the combination of local corrosion, fatigue cracking, and operational damage". Though, new international regulations have been introduced to improve ships' design features and inspections [1].

In ageing bulk carriers, corrosion is one of the most important factors affecting their structural safety and integrity. Thus, the operational life extension of the bulk carriers' steel structures requires permanent consideration of the plates thickness losses due to the corrosion. For commercial naval ships, like bulk carriers, the extent of the corrosion losses is usually measured through the

classification society ships' surveys [2]. Besides the regular steel thickness measurements, corrosion protection measures are necessary, as well. These measures include paint coatings and sacrificial anode systems for immersed areas. Since these measures are not always wholly effective, continual maintenance is required, but not always applied [3]. In order to provoke and support more intensive maintain measures, several bulk carriers' time-variant corrosion losses probability models have been developed up to now [4;5;6;7]. However, the researchers in this domain are usually faced with some serious difficulties, like the following ones: very complex character of the interaction of the ship with its environment and the interaction between the different parts of the ship's hull, the insufficient data for the ship's hull structures deterioration caused by the corrosion, and the lack of the data for the changes of the mechanical properties of the shipbuilding material during its operation and reparations [8]. The large scattering of the data obtained by the different established corrosion probability, or time-dependant models has been noted. Additionally, most of the corrosion prediction models for the ships take little or no account of the operational parameters, and profile of the ships. Consequently, we did an effort through the analysis being presented in this article to stress the operational parameters that commonly affect the structural safety and stability of ageing bulk carriers' structural member locations (areas, or zones) by influencing intensive corrosion processes onboard.

2. The operational parameters that affect bulk carriers' corrosion

The corrosion in bulk carriers is influenced mainly by the following factors: sea water, ballast water, fuel, cargo, atmosphere, manipulative equipment, maintenance, contact zones between two or more (corrosive) media, temperature, and other operational parameters [9;10;11]. It is to be noted that in the literature different division of the operational parameters are present, but it seems acceptable for us, due to our knowledge and experiences, to take into consideration above listed operational parameters as most influencing ones to the corrosion deterioration over aging bulk carriers. In the following part of the paper these operational parameters will be briefly described, while later the scale of their influence to the particular bulk carrier's member locations will be established.

Sea water (P_1): The sea water impact to the corrosion, means, in fact, influence of the marine environment to the outer hull of the bulk carrier structure. However, sea water, under certain operating conditions might be in contact with some other (internal) parts of the structure, especially in the bad weather conditions, and during the cleaning of the cargo holds, when it is used as cleaning mean. This influential factor includes all, very complex characteristics of seawater, including physical, chemical and biological ones, which usually directly affect certain bulk carriers structure areas in exploitation.

Ballast water (P_2): It is sea water used for ballasting. Although this water is essentially salt, sea water, its influence to the deterioration of marine structures is manifold. Fully or partially filled ballast tanks in the long run will be affected by the ballast water in different manner than by the seawater, due to its physical, chemical and biological characteristics. While the temperature in double bottom ballast tanks is about the same as the external one in the sea environments, this is not the case with the top side tanks exposed to the changeable heated and cooled day-night conditions. Additionally, a number of changes of cargo, and loading or unloading operations require frequent exchange of ballast water within the ballast tanks in order to provide adequate stability of the ship. Accordingly, some ballast tanks (mostly upper ones) are more frequently partially or completely ballasting/deballasting in comparison to other ballast tanks. These affect considerably the corrosion process on board depending, thus, on the frequency and location of the ballast exchange.

Fuel (P_3): It is an essential energy medium that provides the propulsion energy to the vessel. The amounts of the fuel on board are quite large, so that the special parts, or tanks, of the structure must be designed for the storage of fuel. As it is necessary to storage both heavy and light fuels, they are usually stored in double bottom tanks. The fuel heating and cooling causes the temperature changes over the structures located near the fuel tanks that significantly affect the degradation of these structures.

Cargo (P_4): Its density, temperature, angle of filling, granulation and the coefficient of friction are certainly the most important physical characteristics of the related loading/unloading operations being carried. These features can be added to the burden ratio (the ratio of participation of different types of cargo that is transported by the vessel), as well as to the frequency of cargo exchanges (frequent changes of the cargos on shorter journeys will accelerate the deterioration of structures in relation to the load/unload operations less frequently done for longer trips). Corrosive cargos (iron ore, and coal) will contribute accelerating the corrosion processes in comparison to a less corrosive cargo, such as grain.

Atmosphere ($P_{5,6}$): The atmospheric conditions can accelerate corrosion deterioration of the structural parts of the vessel, both in terms of the open atmospheric conditions (P_5) and in terms of the semi-closed air spaces, or voided spaces (P_6) inside the vessel hull, or totally enclosed air spaces, depending of the vessel's type and its structural area. In this regard, all atmospheric conditions, taking generally, such as temperature, moisture content and contaminants in the air that can contribute to the acceleration of the structural degradation are to be taken into the consideration. Due to the previously made analysis in this domain [13;14] the atmospheric corrosion depends on temperature, time of wetness and salt deposition, and on the ship's route.

Manipulative equipment (P_7): Using a variety of handling equipment differently affect the degradation of marine structures. The use of elevators for transshipment of smallness dusty cargoes does not significantly affect the corrosion protection covers and vessel's structure surface. However, while loading/unloading heavy bulk cargoes such as iron ore, heavy metals, coal and others, it is necessary to use heavy and robust grabs and/or horizontal unloading machinery. In such circumstances there is a structural damage that significantly accelerates the ageing and deterioration of some structural elements of the bulk carrier.

Maintenance (P_8): The importance of the maintenance system can be treated through the ability to maintain, and meet all necessary maintenance requirements. When the ability to maintain the vessel is in matter, then easy maintenance without special retention and use of ship operations from the shore is to be realizable. Such maintenance is usually performed by the crew members in regard to their regular duties on board. The proper maintenance of certain areas of the ship is a prerequisite for the provision of safety sailing conditions, with respect to defined quality standards for surface protection and condition of vessels' structural elements. If added the fact that insurance companies require a certain quality of surface protection for the cargo holds, then in such circumstances, the appropriate maintenance system would be a condition plus for the optimal ship employment and its safety navigation.

Contact zones (P_9): The specificity of marine environment and influencing factors that cause the degradation of ships in operation largely depends on the interaction of certain factors in the contact zones between two or more media. By increasing the intensity and number of influential factors, increases the risk of developing structural faults. In this regard, the areas under the changing influence of two or more factors, or so called contact zones, suffer of accelerating deterioration of marine structures due to the corrosion.

Recognizing the fact that the cargo is the most corrosive medium, then sea or ballast water, and then the atmosphere, the proper considering the influences that these mediums have to the bulk carriers' structural member locations might be done.

Temperature (P_{10}): It is one of the most important factors affecting the corrosion, and consequent deterioration of marine structures safety and stability. It could be advisable to treat the influence of temperature as a separate factor, although it is indirectly involved through the influence of sea and ballast water, and the atmosphere. Though, the temperature changes are to be scanning as a separate factor of influence, taking into account the temperature changes depending on the area of observation. It should be noted that the influence of temperature changes are usually associated with weather conditions, so that the most exposed to the temperature variations are the upper parts of the ship, and then those which are immersed, and sometimes those which are in the vicinity of the fuel tanks.

3. On the bulk carriers' structural member locations

The shortage of the most of the previous researches in this domain is reflected in a limited number of available data on corrosion losses over ageing bulk carriers, and in detail investigation on only few structural elements of the ship. Though, due to our knowledge, there is no studies in this field considering the ship as a whole, including its both longitudinal and transversal structural elements (areas, zones), but only its segments. In this paper, the complete bulk carrier structure has been divided into eleven structural zones that include both longitudinal and transversal elements, and then they were matched with the operational parameters being previously identified and briefly described.

Up to now, the group of authors (Sone, Magaino, Yamamoto, and Harada) have analyzed some longitudinal and transversal elements of bulk carriers, i.e. twenty elements of the bulk carriers with the capacity over 50 000 DWT, and fourteen elements of the bulk carriers with the capacity of less than 50 000 DWT, registered under the Japanese ClassNK register [15]. In the work of Gardiner and Melchers, the cargo holds were examined [9;16], while the ballast tanks have been examined in the study works of Noor, Soares, Gudze, et. al [17,18,19], as the bulk carriers' areas with the highest risk of the structural errors occurrence. Paik and others [5] have analyzed the degree of corrosion over twenty-three different longitudinal structural elements of the ship.

Within this article, through defining eleven distinguished zones, an effort has been done toward the entire ship analyzing due to the corrosion deteriorations, through both transversal and longitudinal stiffening and plates of its structure [20-22]. In such manner, the critical areas of degradation, due to the operational factors that affect corrosion can be identified, and ultimately the ship's structural strength and stability can be analyzed more easily and effectively. Further analysis in this direction, within each area can determine the corrosion processes, and eventually enable their modeling for the entire ship's structure. The identified eleven areas of the bulk carriers are listed in Table 1, and graphically presented through both longitudinal and transversal cross sections of the bulk carrier in Figure 1.

Table 1. Bulk carriers' structure member locations

Tablica 1. Strukturne oblasti balk keriera

No.	Member location/category	Abbreviation
1	Upper deck	UD
2	Deck superstructure	DS
3	Bottom and side shell plating	BSSP
4	Hatch cover and coamings	HCC
5	Structure in top side tanks	STST
6	Cargo holds transverse bulkheads	CHTB
7	Cargo holds main frames	CHMF
8	Inner bottom and hopper plating	IBHP
9	Internal structure in double bottom tanks	ISDBT
10	After peak structure	APS
11	Fore peak structure	FPS

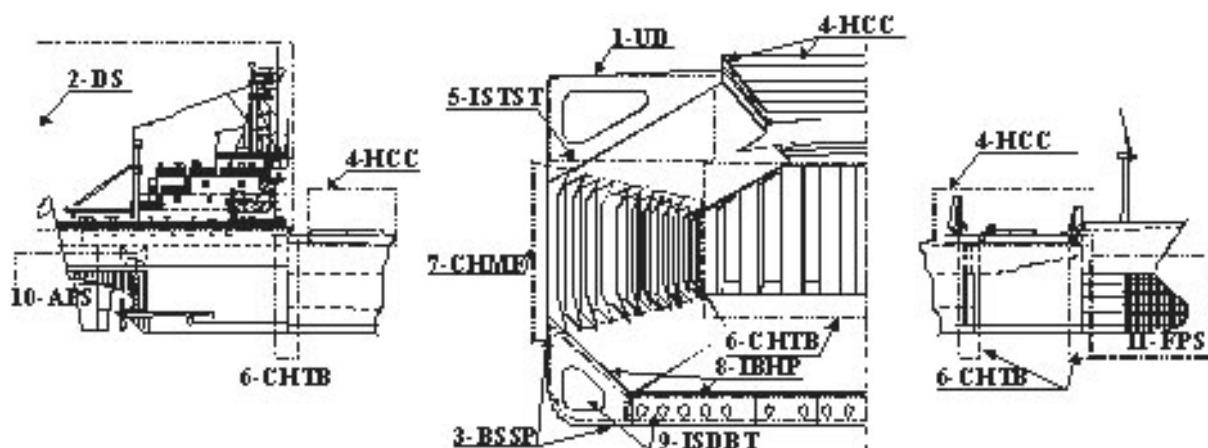


Figure 1. The charasteristical bulk carrier's structural areas (see Table 1)

Slika 1. Karakteristične strukturne oblasti balk keriera (pogledati Tablicu 1)

The main structural features of the above proposed eleven member locations of bulk carriers are shortly described within the following part of the paper.

Upper deck (ML₁): It extends from the stern to the bow of the ship, the sides of the ship, and it closes tightly and securely inside. The subject of numerous previous researches was the main (upper) deck, as the structural area, which consists of entirely flat plates. These plates are placed in strakes which extend along the entire length of the ship, and between the cargo holds. This area is exposed to multiple effects of outside atmospheric conditions from one side (top of deck), and the situation in the cargo holds load, and ballast tanks on the other side (the underside of the deck).

Open decks (ML₂): They are located in the stern area of the ship, above the main deck, in the area of the space for accommodation spanning several levels, and in the fore castle deck. Their number depends on the purpose for which they were built and necessary accommodation space. They consist of a number of panels that are attached by the beams, and extend to both sides of the ship. The top faces of open decks are exposed to specific conditions of the outer atmosphere, and often by the media in the isolated areas on the other side, and as such, because of its location and unique environmental conditions; they can be identified as a specific structural area of the ship.

Bottom and side shell plating (ML₃): It coats the core structure (skeleton) of the ship hull and serves as the impenetrable cloak of the hull. It is composed of flat and curved panels that extend from bow to stern of the ship. It consists of three distinctive parts, the first of which is partly submerged in the entire sea (flat bottom and bilge plates), the part depending on the operating conditions in terms of changing marine and atmospheric environment (wind and water strakes), and the third part, which is exclusively above the highest waterline in the atmospheric environment (sheer strake and strakes below). Also, the hull can be seen through the parts that make up only a flat bottom, an act that touches the inside of the cargo from the cargo holds (between the upper and lower ballast tanks), or ballast water from top side tanks. It is obvious that this area, due to its complexity, can be divided into few specific sub-areas in order to be considered in some more detail, what has been done in the following analysis in the paper. Specificity and complexity of this zone (structure member location) is reflected in the outside influence of sea water and atmosphere, as well as through the impacts of the ballast, cargo, and dry, or humid air from inner side of the shell.

Hatch cover and coaming (ML₄): In order to enable cargo loading/unloading the existence of ship's hatches is necessary. Each cargo hold has in principle at least one hatch, which consists of coaming (a system of vertical stiffening plates which frame the hatch), and cover (steel structure made from sheet metal and related stiffening systems) which serve to close the hatches and watertight storages securing cargo. While coaming represent a system of flat panel reinforced by a number of vertical and horizontal stiffeners that connects the main deck and storage covers, covers are made of flat plates and stiffening system, which rely on coamings in terms of providing cover to the storage. Though, hatch cover and coaming are a complex construction segment exposed to sunlight, atmosphere, air within the cargo holds, and manipulative, i.e. loading/unloading operations.

Structure in top side tanks (ML₅): In order to achieve sufficient stability, ships must carry large amounts of ballast in the upper tanks. The interior is composed of tanks cross half-permeable (web frames, frames) or impermeable plate (transverse watertight bulkhead), transversal and longitudinal. The floor, i.e. the very bottom of the top side tanks is composed of many plates, so called slopping plates. Ballast tanks are located in the upper parts of ships and their entire volumes are exposed to influences of exchanging ballast water, or to the dry and moist air inside the tank. On the outside, tanks are exposed to external atmospheric conditions (from the side and from the top), and depending on the situation within the cargo holds may be under the influence of atmospheric (air) conditions, or under the influence of loaded freight within the cargo hold.

Cargo holds transverse bulkheads (ML₆): Ships, depending on their capacity and length have several cargo holds. These holds are separated by transversal bulkheads, which can be constructed as a flat surface made up of several levels (each level consists of a number of flat panels) or, as is usually the case of corrugated bulkheads. The bulkheads can be set from the bottom of the hold to the main deck, although most often encounter bulkheads that are in the lower and upper stools supported by the pads in which is dry area. In order to merge bulkheads between holds and pads, these transversal components have been identified as one unique structural area, despite the different locations of the sections (bulkheads). Transverse bulkheads are exposed to the impacts of transported cargo and atmospheric environment within the holds, when they are empty (i.e. not fully loaded). Since the bulkheads separate adjacent cargo holds, both sides of their walls are exposed to the influences from neighboring holds, what greatly accelerates the deterioration of these structural elements. The influence of the loading/unloading operations is considerable over this structural area, as well.

Cargo holds main frames (ML₇): The specificity of single balk carriers is reflected in the simple construction consisting of a multitude of vertical stiffening (main frames) that with the system of the lower and upper brackets reinforced hull plating in the cargo holds area.

These main frames are extended between the upper and lower ballast tanks and along the entire length of the cargo holds.

This structural area is under the direct influence of the media inside the cargo hold: cargo, or the atmospheric conditions inside the closed (unloaded, or not fully loaded) cargo hold, and manipulative equipment effects.

Inner bottom and hopper plating (ML₈): The bottom of each cargo hold consists of steel plates that are placed along the entire storage area, extending between the sides of the bulk carrier. These plates are flat in the central part of the cargo hold (inner bottom plating), while toward the hips they raise to the hull frames (hopper plating). These steel plates made the bottom of the cargo hold, carrying cargo, and they are consequently directly affected by the loaded cargo, or the atmospheric conditions within the hold from the top side, cargo handling equipment, also from the top side, and conditions inside ballast tanks (ballast water, dry or wet air) from the bottom side.

Internal structure in double bottom tanks (ML₉): Double bottom is a separate space at the bottom of the ship, which is bounded by the flat bottom plates, by the bilge plating from the side, and the inner bottom and hopper plating from the top. Bearing in mind that the bottom of the hull and cargo hold areas are identified as separated ones, the rest of the structure inside the tank is considered as a single area. Integral parts of this area are: transversal floors and water tight floors with stiffener system, bottom and inner bottom longitudinal stiffeners, and girder and water tight girder with stiffener system. It is obvious that this area is composed of numerous transverse and longitudinal structural elements, whether it is a dry area, or it is used as ballast spaces, or spaces in which the fuel is stored. Though, inside of the tanks can be found dry or moist air, ballast water, fuel; while the seawater, cargo, or air within the cargo holds (when they are empty or not fully loaded) are outside this area.

After peak structures (ML₁₀): The after peak ballast tank is usually located in the back of the bulk carrier and it is limited from the outside by the shell plating. This area includes the entire internal structure of the tank, consisting of longitudinal and transversal plates, webs, and girders. This structure is located inside the shell plates, below tank top, and from the stern to the forward bulkhead, toward the engine room. The tank top and bulkhead are made from flat plates, which were reinforced with vertical and horizontal stiffeners, which are located inside the tank. The interior of this area may be under the influence of the media inside the tank, such as technical or potable water, ballast water, and dry, or moist air inside the tank, while from the outside it is affected by sea water and external weather conditions.

Fore peak structures (ML₁₁): Fore peak ballast tank is located in front of the bulk carrier and extends generally from the flat-bottom of the vessel to the main deck. The tank is covered by the shell plating from the outer side, the collision bulkhead to the first cargo hold, and by the tank top, which is mainly in the main deck area. Tank top and stringers plates (with transversal beams, longitudinal girders), web frames and frames (which are connected to the shell plating), and stiffener system on the collision bulkhead, are the constitutive parts of this area. The interior of the tank is under the influence of ballast water and moist or dry air, while the outer side is under the influence of sea water and atmospheric conditions.

After the short description of the main operational parameters influencing corrosion processes over ageing bulk carriers, along with the main structural areas of the bulk carriers', they will be matched, or confronted in aim to get an insight toward the extent in which the particular operation parameters affect each of the bulk carriers' member locations.

4. Confronting the operational parameters and the bulk carriers' member locations

Confronting, or matching, the operational parameters and the bulk carriers' member locations is realized in a way that it has been identified which operational parameter affects, or does not affect certain member location. In the first iteration this has been done in accordance to the simple binary principle: if the operational parameter affects the member location – one (1) will be assign to this match, and vice versa, if the operational parameter does not affect the member location – zero (0) will be assign to this match (Table 2). Then, the number of 1(s) is summarized for the each of the member locations, and the series of sum-values sorted from the largest to the smallest one has been formed. The final scores have been presented in Figure 2, while operation parameters and bulk carrier's member locations have been listed and briefly described in the previous sections of the paper.

Table 2. Binary expressed relations between operational parameters and bulk carrier's member locations

Tablica 2. Binarno izražena zavisnost između operativnih parametara i strukturnih oblasti balk keriera

	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₆	P ₇	P ₈	P ₉	P ₁₀	Σ
ML ₁	1	1	0	0	1	1	0	1	1	1	7
ML ₂	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	4
ML ₃	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10
ML ₄	1	0	0	0	1	1	0	1	0	1	5
ML ₅	0	1	0	0	0	1	0	1	1	1	5
ML ₆	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	7
ML ₇	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	7
ML ₈	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	8
ML ₉	0	1	1	0	0	1	0	1	1	1	6
ML ₁₀	0	1	0	0	0	1	0	1	1	1	5
ML ₁₁	0	1	0	0	0	1	0	1	1	1	5

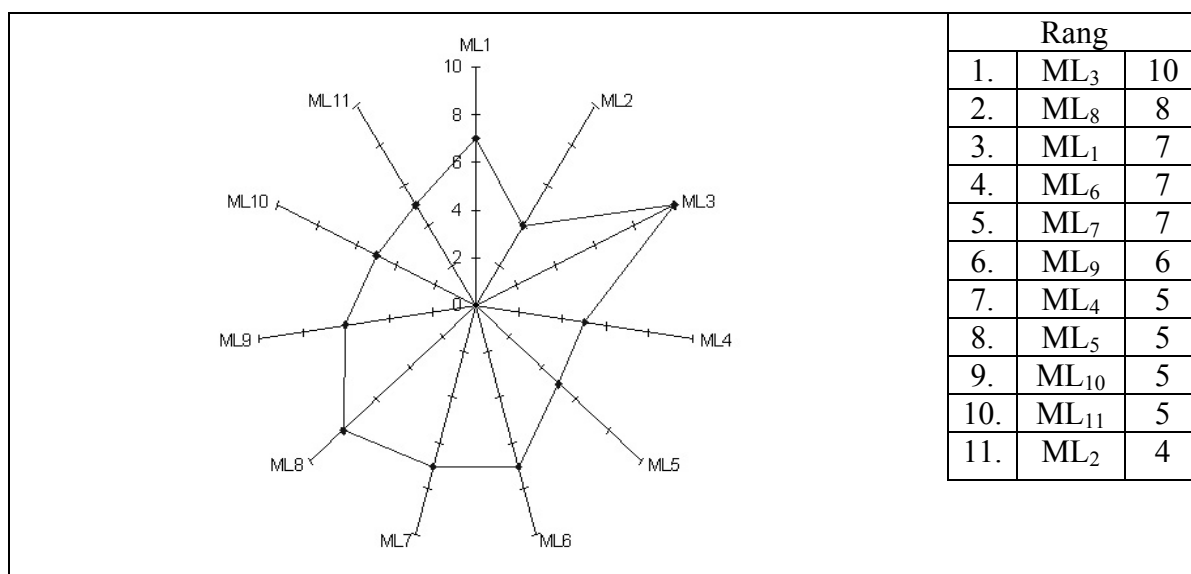


Figure 2. Bulk carrier's member locations ranged due to the grade of the operational parameters impacts: binary approach

Slika 2. Strukturne oblasti balk keriera rangirane prema stepenu izloženosti uticaju operativnih parametara: binarni pristup

Bearing in mind that the previous given estimation is rather rough, here is given an attempt to refine it by assigning the coefficients (C_1, C_2, C_3, C_4) to each of the matches depending on that in which extent certain operational parameter affects the bulk carrier's particular member location. The assigned weight coefficients may be linguistically described and translated into the numerical values in the following manner:

- C_1 – no impact (0);
- C_2 – small impact (1.25);
- C_3 – medium impact (1.5), and
- C_4 – considerable impact (1.75).

These weight coefficients (indexes, or ponders) are estimated due to the authors' experiences acquired through the previous practical (on site), and experimental research work in this field [21-23].

Of course, these coefficients might be subject of slight modifications, but for the purpose of this, let's say, pioneer research in this field, they are satisfying, while opening new perspectives for further more profound and detail experiments. The logical assignment of the coefficients C_1, C_2, C_3 and C_4 to the particular pairs of the operational parameters and bulk carriers' structural zones, or member locations, is given in Table 3. It is based, as it is still noted, on the authors' intuition and previous experiences. Similarly to the previous case, where the problem was treated in terms of binary coefficients, now, new assigned numerical values (weight coefficients, indexes, or ponders) are established, and in each row, i.e. per each member location, they were summarized and the final scores obtained. Then, sorting of the obtained numerical values (scores) have been done, and the final rank due to each member location sensitivity to all operational parameters has been established. The results are presented graphically by a radial diagram, as well, in Figure 3.

Table 3. The operational parameters impacts to the bulk carrier's member locations expressed through the empirically estimated weight coefficients

Tablica 3. Uticaji operativnih parametara na strukturne oblasti balk keriera izražene posredstvom empirijski procijenjenih težinskih koeficijenata

	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₆	P ₇	P ₈	P ₉	P ₁₀	Σ
ML ₁	1,50	1,25	0,00	0,00	1,75	1,50	0,00	1,25	1,50	1,75	10,50
ML ₂	1,25	0,00	0,00	0,00	1,75	0,00	0,00	1,25	0,00	1,50	5,75
ML ₃	1,75	1,50	1,25	1,25	1,25	1,50	1,25	1,25	1,50	1,50	14,00
ML ₄	1,25	0,00	0,00	0,00	1,75	1,25	0,00	1,25	0,00	1,75	7,25
ML ₅	0,00	1,75	0,00	0,00	0,00	1,75	0,00	1,75	1,25	1,75	8,25
ML ₆	0,00	0,00	0,00	1,75	1,50	1,50	1,50	1,75	1,75	1,25	11,00
ML ₇	0,00	0,00	0,00	1,75	1,50	1,50	1,50	1,75	1,75	1,50	11,25
ML ₈	0,00	1,50	1,50	1,75	0,00	1,50	1,75	1,75	1,75	1,50	13,00
ML ₉	0,00	1,75	1,75	0,00	0,00	1,75	0,00	1,75	1,25	1,25	9,50
ML ₁₀	0,00	1,75	0,00	0,00	0,00	1,75	0,00	1,50	1,25	1,50	7,75
ML ₁₁	0,00	1,75	0,00	0,00	0,00	1,75	0,00	1,50	1,25	1,50	7,75

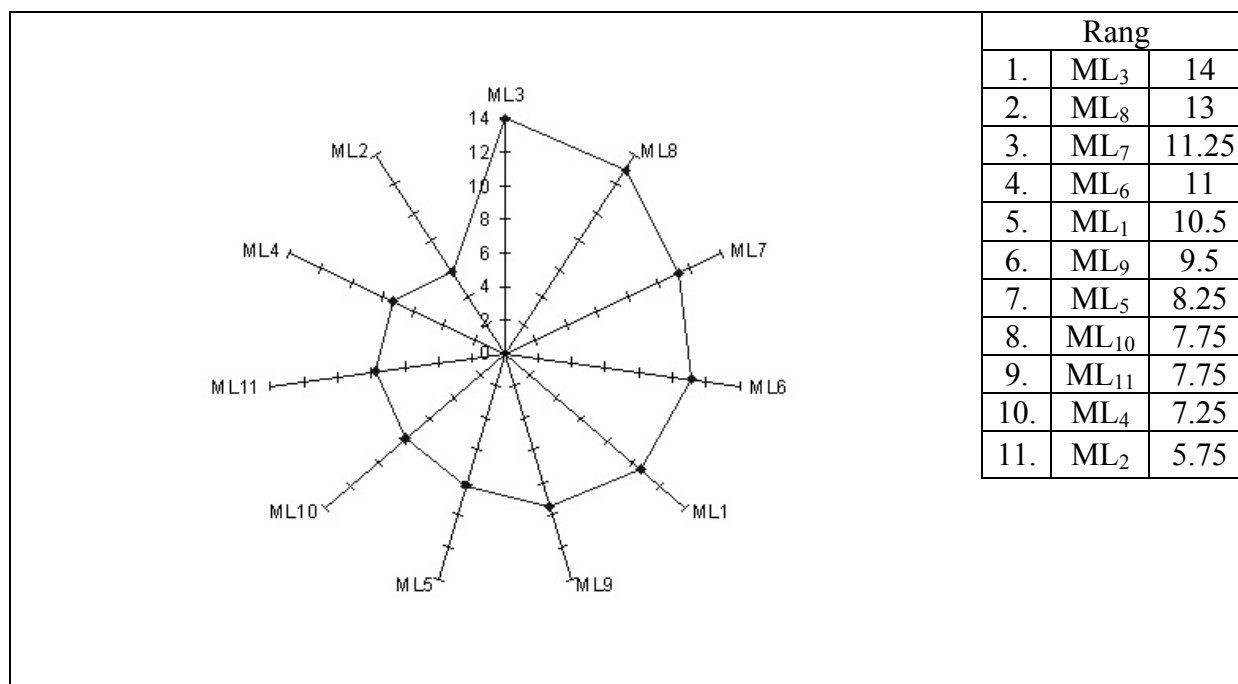


Figure 3. Bulk carrier’s member locations ranged due to the grade of the operational parameters impacts: approach based on the weight coefficients

Slika 3. Strukturne oblasti balk keriera rangirane prema stepenu izloženosti uticaju operativnih parametara: pristup baziran na težinskim koeficijentima

In accordance to the previously given brief qualitative-quantitative review of the operational parameters and their corrosive impacts to the bulk carriers’ structural member locations, it becomes possible to determine the rank of the bulk carriers’ member locations due to their exposing, in different grades, to the different operational factors (Table 4). The first obtained rank (rank 1) is based upon binary approach, while the second one (rank 2) is based on an indexed approach, i.e. each value 1 in the previous case have been pondered by the empirically and logically assigned weight coefficient ($C_1, C_2, C_3,$ or C_4).

Table 4. The grade of bulk carriers’ member locations exposing to the operational parameters impacts

Tablica 4. Stepenu izloženosti strukturnih oblasti balk keriera uticaju operativnih parametara

Member locations: modified division		Rang 1: binary approach	Rang 2: pondering coefficients approach
ML ₁	Upper deck	3	5
ML ₂	Deck superstructure	11	11
ML ₃	Bottom and side shell plating	1	1
ML ₄	Hatch cover and coamings	7	10
ML ₅	Structure in top side tanks	8	7
ML ₆	Cargo holds transverse bulkheads	4	4
ML ₇	Cargo holds main frames	5	3
ML ₈	Inner bottom and hopper plating	2	2
ML ₉	Internal structure in double bottom tanks	6	6
ML ₁₀	After peak structure	9	8
ML ₁₁	Fore peak structure	10	9

In both cases it can be concluded that the bottom and side shell plating (ML₃) is the most sensitive zone of the ship's structure being influenced in the greatest extent to the operational parameters and different environmental effects. It is mostly reasonable, since this zone is affected by several changeable media related to the seawater and atmosphere. But, this area due to its specific shape and complexity can be divided into three separated zones: the first being completely immersed into the sea (flat bottom and bilge strakes), the second one exposed to the variable impacts of both seawater and atmosphere (wind and water strakes), depending on that is the ship ballasted or not (case when it is full loaded), and the third one exposed to the atmosphere. Thus, the zone ML₃ might be divided into three sub-zones (ML₃₁, ML₃₂, and ML₃₃) as follows: ML₃₁ – flat bottom and bilge strake, ML₃₂ – wind and water strakes, ML₃₃ – sheer strake and strakes below.

By such division, ML₃ (bottom and side shell plating) will consequently “lost” the leading position as the most sensitive member location of ageing bulk carriers, and by performing the analogue analysis to the previous ones, it becomes obvious that it will be replaced by the **inner bottom and hopper plating** (ML₈), or shortly, IBHP. This is quite reasonable since this bulk carrier's member location is permanently, during the whole ship's service life, exposed in almost greatest extent to the impacts of cargo, ballast, fuel, void spaces, and/or manipulative equipment, depending on the type of the vessel, its cargo type(s) and rates, trade (geographical) routes, etc.

The empirical modification of the previous model, based on the bottom and side shell plating division into three segments, is given below, in Tables 5 and 6. Newly obtained ranks by this modification are explicitly given in Table 7.

Table 5. Binary expressed relations between operational parameters and bulk carrier's member locations – modified approach

Tablica 5. Binarno izražena zavisnost između operativnih parametara i strukturnih oblasti balk keriera – modifikovan pristup

	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₆	P ₇	P ₈	P ₉	P ₁₀	Σ
ML ₁	1	1	0	0	1	1	0	1	1	1	7
ML ₂	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	4
ML ₃₁	1	1	1	0	0	1	0	1	1	1	7
ML ₃₂	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	8
ML ₃₃	1	1	0	0	1	1	0	1	1	1	8
ML ₄	1	0	0	0	1	1	0	1	0	1	5
ML ₅	0	1	0	0	0	1	0	1	1	1	5
ML ₆	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	7
ML ₇	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	7
ML ₈	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	8
ML ₉	0	1	1	0	0	1	0	1	1	1	6
ML ₁₀	0	1	0	0	0	1	0	1	1	1	5
ML ₁₁	0	1	0	0	0	1	0	1	1	1	5

Table 6. The operational parameters impacts to the bulk carrier's member locations expressed through the empirically estimated weight coefficients – modified approach

Tablica 6. Uticaji operativnih parametara na strukturne oblasti balk keriera izražene posredstvom empirijski procijenjenih težinskih koeficijenata – modifikovan pristup

	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₆	P ₇	P ₈	P ₉	P ₁₀	Σ
ML ₁	1,5	1,25	0	0	1,75	1,5	0	1,25	1,5	1,75	10,5
ML ₂	1,25	0	0	0	1,75	0	0	1,25	0	1,5	5,75
ML ₃₁	1,75	1,25	1,25	0	0	1,5	0	1,25	1,5	1,25	9,75
ML ₃₂	1,75	0	0	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,5	1,5	11
ML ₃₃	1,5	1,25	0	0	1,25	1,5	0	1,25	1,5	1,75	9
ML ₄	1,25	0	0	0	1,75	1,25	0	1,25	0	1,75	7,25
ML ₅	0	1,75	0	0	0	1,75	0	1,75	1,25	1,75	8,25
ML ₆	0	0	0	1,75	1,5	1,5	1,5	1,75	1,75	1,25	11
ML ₇	0	0	0	1,75	1,5	1,5	1,5	1,75	1,75	1,5	11,25
ML ₈	0	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,75	1,75	1,75	1,5	13
ML ₉	0	1,75	1,75	0	0	1,75	0	1,75	1,25	1,25	9,5
ML ₁₀	0	1,75	0	0	0	1,75	0	1,5	1,25	1,5	7,75
ML ₁₁	0	1,75	0	0	0	1,75	0	1,5	1,25	1,5	7,75

Table 7. New obtained rang of bulk carriers' member locations grade of exposing to the operational parameters impacts

Tablica 7. Novoodređeni rang stepena izloženosti strukturnih oblasti balk keriera uticajima operativnih parametara

Member location		Rang 1: binary approach	Rang 2: pondering coefficients approach
ML ₁	Upper deck	4	5
ML ₂	Deck superstructure	13	13
ML ₃₁	Flat bottom and bilge strake	5	6
ML ₃₂	Wind and water strakes	1	3
ML ₃₃	Sheer strake and strakes below	2	8
ML ₄	Hatch cover and coamings	9	12
ML ₅	Structure in top side tanks	10	9
ML ₆	Cargo holds transverse bulkheads	6	4
ML ₇	Cargo holds main frames	7	2
ML ₈	Inner bottom and hopper plating	3	1
ML ₉	Internal structure in double bottom tanks	8	7
ML ₁₀	After peak structure	11	10
ML ₁₁	Fore peak structure	12	11

Thus, by dividing bottom and side shell plating into three independent segments, it has been shown by the appropriate matching bulk carriers' operational parameters and the structural member locations, that inner bottom and hopper plating (ML₈) is the most vulnerable, and in the greatest extent affected by the general corrosion processes. Though, this segment of the bulk carriers (IBHP) will be additionally, probabilistically, analyzed in the next section.

5. The IBHP probability analysis

During the passed two decades, structural reliability approach has been extensively applied to evaluate bulk carriers' structural strength [4-11;20-23]. The statistical and probabilistic analysis being done show a very large level of obtained models scattering. But, it is evident that with ageing ships loose more and more of their structure due to the corrosion, and the corrosion loss tends to become more pronounced during the time. Though, the corrosion wastage data show a high degree of variation. Particular attempts have been done toward quantifying coating life or coating longevity, as well. Some preliminary results show that the coating life is about 6.5 years in average with standard deviation of about 1.5 years [23]. It has been found out that Weibull and lognormal functions appear to well fit and are suitable for presenting probability density functions of some analyzed bulk carriers member locations during their entire exploitation lives [15;16].

In this paper, it has been identified that **inner bottom and hopper plating** is the most vulnerable member location of the bulk carriers', in the sense of corrosion deterioration which varies due to the number and intensity of operational parameters affecting them. Owing to the large data base which the ultrasonic thickness measurement (UTM) Company provide for the purpose of this investigation, we were in position to realize some probabilistic analyses over 21 aging bulk carrier, i.e. over 1841 gauged points. More precisely, the measured data on corrosion wear for four bulk carriers being in exploitation 15 years (297 gauged points), for eight bulks being in exploitation 20 years (637 gauged points), and for nine bulk carriers being in operation 25 years (917 gauged points), were available. The collected data set represent the corrosion wear (loss) in the form of corrosion depth [mm]. The data were collected through the numerous, regular, and standardized measurements realized on the site by the accredited UTM Company.

5.1. The approach based on Weibull distribution analysis

In the previous probabilistic analysis of the corrosion losses over aging bulk carriers, it has been shown that the considered data exhibit great scattering [4-8;10-11;23-24]. The same was with the data which were available for the purpose of this research. Namely, it was difficult to fit the data collected by regular and standardized ships' measurements on site to the most commonly used Weibull distribution, which usually (along with lognormal distribution) best fits the corrosion wear over ageing bulk carriers [4-8]. Consequently, it was necessary to find out an optimal way to pre-process the collected data in attempt to better fit them into Weibull distribution function. For that purpose generator of random numbers for inverse Weibull distribution function has been used. The proposed algorithm, being employed in the paper, should be explained briefly through the following steps:

- (a) Inserting into the Excel worksheet measured values of the corrosion depth [mm], over the ageing bulk carriers' inner bottom and hopper plating member locations;
- (b) Generating random numbers for the inverse Weibull distribution function with predefined subjectively estimated distribution parameters (alpha, beta, gamma);
- (c) Examining where the measured values of corrosion wear, on board, correspond to the pseudo randomly generated numbers, and then forming the new series of that values;
- (d) Identifying the frequencies of appearing of each different measured values in the new-formed series, and
- (e) Finally, by the EasyFit software (ver. 5.5), finding out which of the numerous offered distributions within this software model database best fit the selected data from the set of measured values; while the selection of the data was done, as it is still noted, in accordance with randomly generated numbers from inverse Weibull distribution law.

These steps were realized by the Excel special function NTRANDWEIBULL (alpha, beta, gamma), and Excel imbedded functions LOOKUP (value, range) and COUNTIF (range, criteria). The function NTRANDWEIBULL returns Weibull pseudo random numbers based on Mersenne Twister algorithm [25]. Its syntax is as follows: NTRANDWEIBULL (size, alpha, beta, algorithm, random seed 1, random seed 2), where alpha>0, and beta>0, algorithm is an integer value that determines the method to generate uniform random numbers. The segment of the Excel worksheet where this measured data were pre-processed, i.e. filtered in a manner, in order to achieve better correspondence to the Weibull distribution, at the end of the simulation, is shown in Table 8.

	A	B	C	D	E	F	G
1	Corrosion [mm]	Weibull RAND	LOOKUP	Diff. corr. ware values	No. of appearing	Frequency	
2	0.0	4.181834	3.1	0.0	35.0	0.062724	Mean: 1.5
3	0.0	2.125919	2.1	0.1	60.0	0.107527	St. dev.: 1.5
4	0.1	1.448396	1.4	0.2	0.0	0.000000	Var.: 2.3
5	0.1	1.209807	1.2	0.3	26.0	0.046595	
6	0.1	2.525701	2.5	0.4	30.0	0.053763	
7	0.1	0.922361	0.9	0.5	37.0	0.066308	
8	0.1	2.065580	2.0	0.6	45.0	0.080645	
9	0.1	7.218747	4.7	0.7	0.0	0.000000	
10	0.1	2.609389	2.6	0.8	35.0	0.062724	
11	0.1	2.382233	2.3	0.9	0.0	0.000000	
12	0.1	0.823797	0.8	1.0	21.0	0.037634	
13	0.1	3.279766	3.1	1.1	22.0	0.039427	
14	0.1	0.093471	0.0	1.2	13.0	0.023297	
15	0.1	0.300497	0.3	1.3	14.0	0.025090	

Parameters of the Weibull distribution function: $\alpha = 0.7$; $\beta = 0.51365$; $\gamma = 0$; Mean: 0.65019; Var.: 0.95085 ; St. Dev.: 1.4624

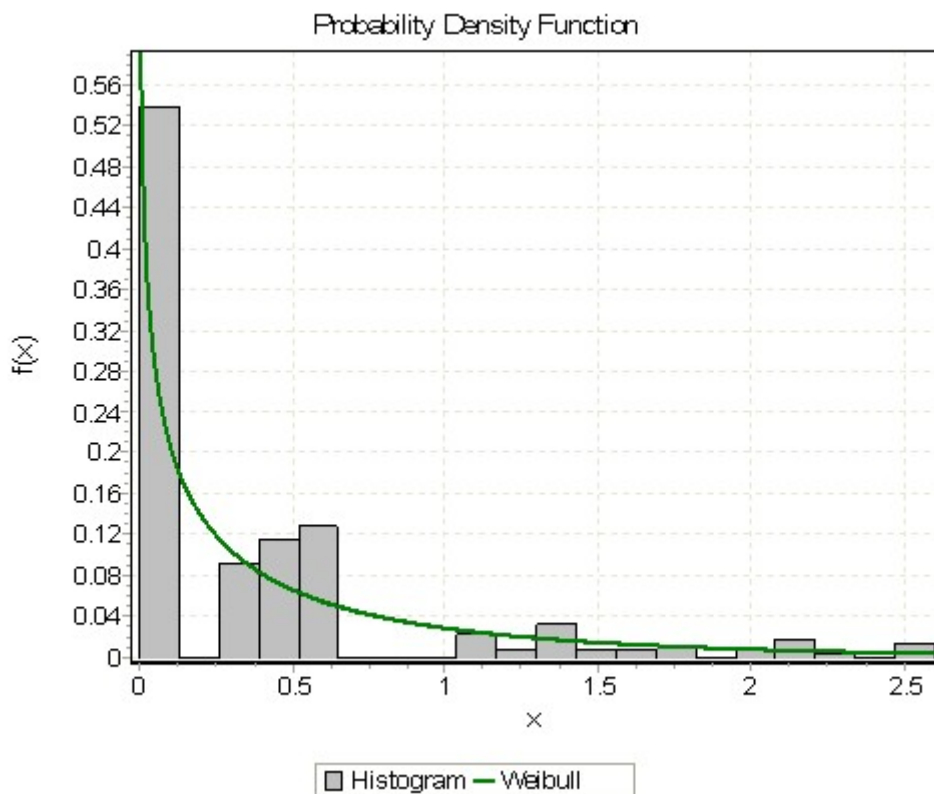
Figure 4. Pre-processing of the corrosion ware data measured on the bulk carriers

Slika 4. Pre-procesuiranje podataka o koroziomom istrošenju izmjerenih na balk kerierima

5.2. Obtained results

Probabilistically have been analyzed the data on the corrosion losses over ageing bulk carriers within three different points of time, i.e. after 15th, 20th and 25th year of the ships' exploitation. Both bulk carriers for grain and other smallness (dusty) bulk cargos, and those for iron ore and coil have been taken into the consideration. Since the greater wear of the bulk carriers' structure steel due to the corrosion is obvious over the ships which carry the iron ore and coil, than over those carrying grain or other light cargos, these two groups of bulks were treated separately by the previously proposed simulation method, and the following results have been obtained:

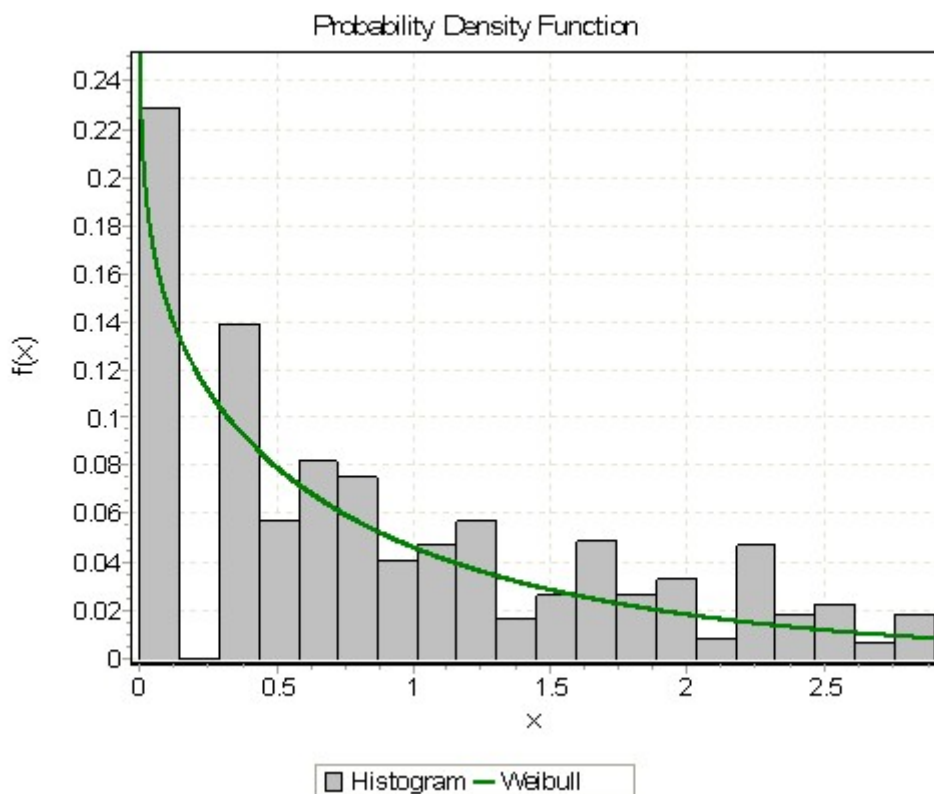
- (a) In the case of four ships for grain cargo, being in exploitation 15 years, the Weibull distribution function with noted parameters was found out as one that best fits the collected data on site (at 297 gauge points), Figure 5;



Parameters of the Weibull distribution function: $\alpha = 0.7$; $\beta = 0.51365$; $\gamma = 0$; Mean: 0.65019;
Var.: 0.95085 ; St. Dev.: 1.4624

Figure 5. Corrosion depth [mm] measured over the bulk carriers being in exploitation 15 years
Slika 5. Dubina korozije [mm] izmjerena na balk kerierima koji su u eksploataciji 15 godina

- (b) In the case of seven ships for grain and other smallness, dusty bulk cargos, being in exploitation 20 years, the Weibull distribution function, with below given parameters, has been found as one that best fits the collected data (over 558 gauge points), Figure 6;

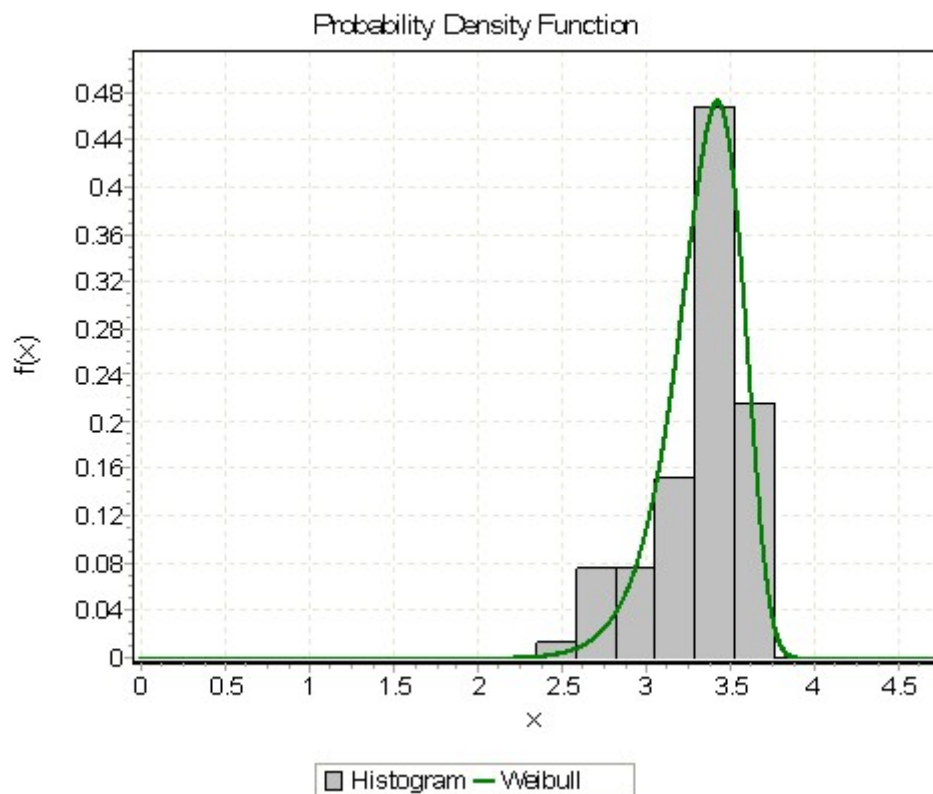


Parameters of the Weibull distribution function: $\alpha = 0.87$; $\beta = 1.0$; $\gamma = 0$; Mean: 1.5; Var.: 2.3; St. Dev.: 1.5

Figure 6. Corrosion depth [mm] measured over the bulk carriers being in exploitation 20 years (cargo: grain)

Slika 6. Dubina korozije [mm] izmjerena na balk kerierima koji su u eksploataciji 20 godina (teret: žitarice)

- (c) In the case of only one available ageing bulk carrier for iron ore and coil, being in service 20 years, the Weibull distribution has been identified again as one which best fits the gathered data (over 79 gauge points), Figure 7;

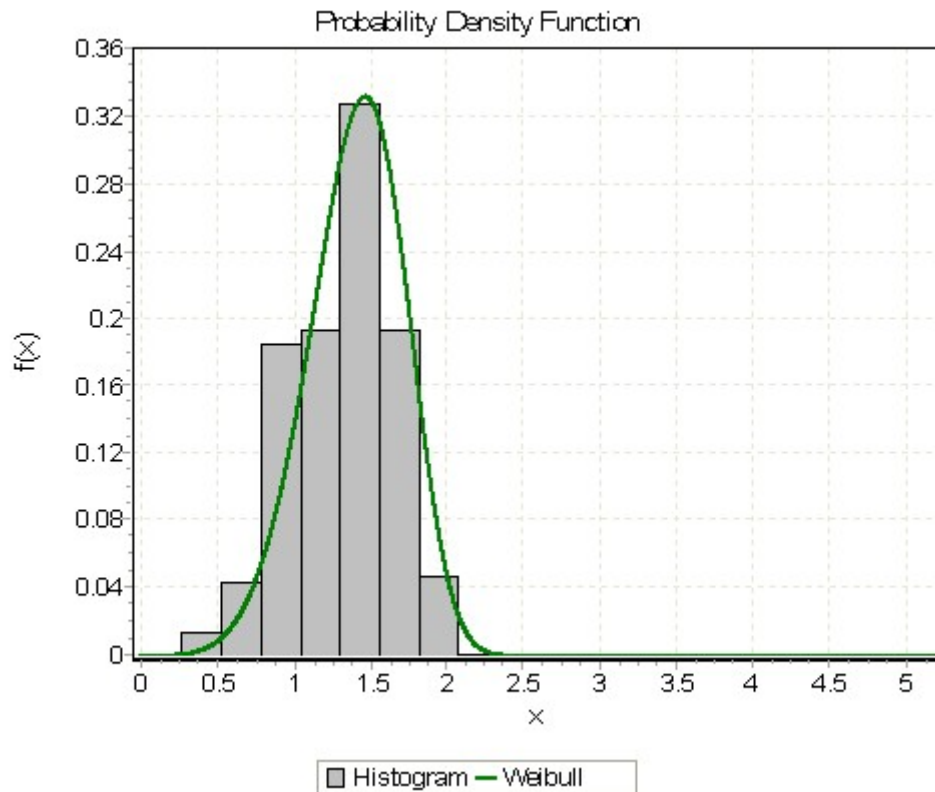


Parameters of the Weibull distribution function: $\alpha = 18.7$; $\beta = 3.4292$; $\gamma = 0$; Mean: 3.3326; Var.: 0.04858; St. Dev.: 0.22041

Figure 7. Corrosion depth [mm] measured over the bulk carriers being in exploitation 20 years (cargo: iron ore)

Slika 7. Dubina korozije [mm] izmjerena na balk kerierima koji su u eksploataciji 20 godina (teret: željezna ruda)

- (d) In the case of three bulk carriers for grain and other smallness, or dusty bulk cargos, being in service 25 years, the Weibull distribution, with given parameters, best fits the available measured data (over 238 gauged points), Figure 8;

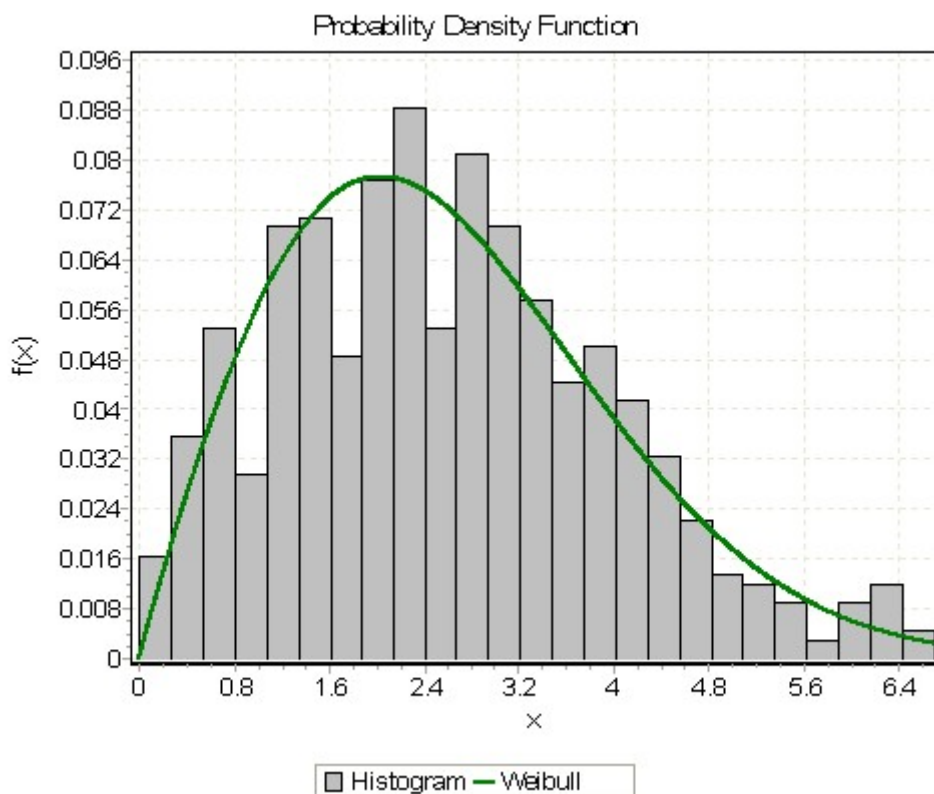


Parameters of the Weibull distribution function: $\alpha = 5.1852$; $\beta = 1.5264$; $\gamma = 0$; Mean: 1.4044;
Var.: 0.09683; St. Dev.: 0.31117

Figure 8. Corrosion depth [mm] measured over the bulk carriers being in exploitation 25 years (cargo: grain)

Slika 8. Dubina korozije [mm] izmjerena na balk kerierima koji su u eksploataciji 25 godina (teret: žitarice)

- (e) Finally, in the case of six bulk carriers for transportation of iron ore and , being in exploitation 25 years, the Weibull distribution, with given parameters, was found out to best fits the collected data on the corrosion loss (over even 679 gauged points), Figure 9.



Parameters of the Weibull distribution function: $\alpha = 1.9548$; $\beta = 2.9351$; $\gamma = 0$; Mean: 2.6024;
 Var.: 1.9283; St. Dev.: 1.3886

Figure 9. Corrosion depth [mm] measured over the bulk carriers being in exploitation 25 years (cargo: iron ore)

Slika 9. Dubina korozije [mm] izmjerena na balk kerierima koji su u eksploataciji 25 godina (teret: željezna ruda)

These probabilistic data may be the subject of further more rigorous and detail analysis, but, they can give a general overview how and to what extent corrosion affects ageing bulk carriers in the certain point of time. What is obvious is that the corrosion wear rapidly grows with time which the ship spends in exploitation. Namely, the parameter beta of Weibull distribution considerably grows as the time of service becomes longer. As well, the corrosion losses are much more in the cases when bulk carriers were used for the transportation or dense cargoes like iron ore and coil, than in the cases when they were used for the transportation of grain and other smallness, or dusty bulk cargos. By the proper modifications in the input data set (measured values of the corrosion losses on site) it is achieved that the collected data are well fitted into the Weibull distribution function, what can be used later effectively for predicting corrosion depth depending on time which bulk carrier spent in service. The modifications are based on matching the collected data by those randomly generated from the inverse Weibull distribution with arbitrary chosen parameters.

This model might be proposed as general one for pre-processing data which are likely to be good fitted to the Weibull (or some other) theoretical distribution function.

Conclusions

It is obvious that the internal, as well as, the external structural member locations of ageing bulk carriers are exposed to a range of corrosive environments. The existence and also the influence of each environment do not remain constant throughout the bulk carriers' service lives. Though, the attempts are directed toward developing as reliable as possible time-variant patterns of corrosion that are characteristic to each, and particularly to those spaces that are the most influenced due to the corrosion wear.

In this paper operational parameters that commonly influence corrosion have been confronted with particular member locations of bulk carriers' structure. The appropriate matrixes composed of binary values and of the empirically and logically estimated weighted coefficients, have been formed. These matrixes were analyzed with the aim of giving an overview how certain operational parameters affect particular member locations. It has been shown that inner bottom and hopper plating (ML₈, IBHP) is the most vulnerable due to the corrosion, since it is permanently exposed to the variety of influences, such as: cargo type(s) and rates, ballast volumes and frequency of exchange, fuel, void spaces, manipulative equipment, maintenance, trade (different geographical) routes, etc.

In the paper also IBHP was probabilistically treated on the basis of the set of original data on the corrosion losses over several ageing bulk carriers, on site, by accredited UTM Company. The measured data have been pre-processed, or filtered, in accordance with randomly generated numbers from inverse Weibull distribution. It has been shown that the pre-processed measured data well follow the Weibull theoretical probability density functions, and their main parameters (mean value, standard deviation, and variance) have been calculated for the bulk carriers' being in service 15, 20 and 25 years. The observed scatterings in the Weibull functions parameters over analyzed data sets of measured corrosion depths, pointed the need for further more rigorous investigation in this field above the larger set of the original data being collected in shorter time intervals. Consequently, corrosion losses over ageing bulk carriers' member locations require paramagnet monitoring and profound analysis over each particular segment, and over the vessel hull structure as a whole, simultaneously.

Acknowledgement

The data for the purpose of qualitative-quantitative and probabilistic analysis in the paper have been provided by the UTM “Invar-Ivošević” Company. The Company provides marine services of ultrasonic thickness measurements over vessels’ hull structures and it has nine valid certificates issued by the recognized classification societies: LR, BV, DNV, RINA, ABS, ClassNK, GL, and RSR. It has inspected more than two hundred vessels. Some more information about the Company can be found at URL: <http://www.invar.me/index.html>.

In addition, proposed joint EU IPA project by Faculty of Maritime Studies - Kotor (University of Montenegro), and Faculty of Production and Management – Trebinje (University of East Sarajevo), in cooperation with Metallurgical Institute “Kemal Kapetanović”- Zenica (University of Zenica), entitled “Monitoring and exploring the impacts of vessels’ corrosion processes to the sea pollution in Boka Kotorska and Neum Bays” (June, 2011), if it become approved by EU Commission, should contribute to the further more extensive and more profound investigations in this domain.

References:

- [1] INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION (IMO): *IMO and the Safety of Bulk Carriers*, September, 1999.
- [2] ADAMSON, L.; BROWN, N.: *IMO and the Safety of Bulk Carriers*, Focus on IMO, September, 1999.
- [3] GUDZE, M.T.; MELCHERS, R.E.: *Operational Based Corrosion Analysis in Naval Ships*, Corrosion Science, 50 (2008), 3296-3307.
- [4] PAIK, J.K.; KIM, S.K.; LEE, S.K.; PARK, J.E.: *A Probabilistic Corrosion Rate Estimation Model for Longitudinal Strength Members of Bulk Carriers*, Journal of Ships and Ocean Technology, 1 (1998) 2, 58-70.
- [5] PAIK, J.K.; LEE, J.M.; PARK, Y.I.; HWANG, J.S.; KIM, C.W.: *Time-Variant Ultimate Longitudinal Strength of Corroded Bulk Carriers*, Journal of Marine Structures, (2003) 16, 567-600.
- [6] PAIK, J.K.: *Corrosion Analysis of Seawater Ballast Tank Structures*, International Journal of Maritime Engineering, 146 (2004), 1-12.
- [7] PAIK, J.K.; THAYAMBALLI, A.K.; PARK, Y.I.: *A Time-Dependent Corrosion Wastage Model for Seawater Ballast Tank Structures of Ships*, Corrosion Science, 2 (2004) 42, 471-486.
- [8] IVANOV, L.D.: *Challenges and Possible Solutions of the Time-Variant Reliability of Ship’s Hull Girder*, Ships and Offshore Structures, 3 (2009) 4, 215-228.
- [9] GARDINER, C.P.; MELCHERS, R.E.: *Corrosion Analysis of Bulk Carriers, Part I: Operational Parameters Influencing Corrosion Rates*, Marine Structures, 16 (2003), 547-566.
- [10] MELCHERS, R.E.: *Probabilistic Model for Marine Corrosion of Steel for Structural Reliability Assessment*, Journal of Structural Engineering, 129 (2003) 11, 1484-1493.
- [11] MELCHERS, R.E.: *Corrosion Modelling for Steel Structures*, Journal of Constructional Steel Research, 52 (1999), 3-19.
- [12] NATESAN, M.: *PhD Thesis*, Anna University, Chennai, India, 1995.
- [13] GARDINER, C.P., MELCHERS, R.E.: *Enclosed Atmospheric Corrosion in Ship Spaces*, British Corrosion Journal, 36 (2001) 4, 272-276.
- [14] GARDINER, C.P.; MELCHERS, R.E.: *Corrosion of Mild Steel by Coal and Iron Ore*, Corrosion Science, 44 (2002), 2665-2673.
- [15] SONE, H.; MAGAINO, A.; YAMAMOTO, N.; HARADA, S.: *Evaluation of Thickness Diminution in Steel Plates for the Assessment of Structural Condition of Ships in Service*, ClassNK Technical Bulletin, (2003) 21, 55-72.

- [16] GARDINER, C.P.; MELCHERS, R.E.: *Bulk Carrier Corrosion Modelling*, Proceedings of the 11th International Offshore and Polar Engineering Conference Stavanger, Norway, June, 2001.
- [17] NOOR, N.M.; SMITH, G.H.; YAHAYA, N.: *The weibull time-dependent growth model of marine corrosion in seawater ballast tank*, Malaysian Journal of Civil Engineering, 19 (2007) 2, 142-155.
- [18] SOARES, G.; GARBATOV, C.; ZAYED, Y.; WANG, G.: *Non-linear Corrosion Model for Immersed Steel Plates Accounting for Environmental Factors*, Transactions SNAME, 2005.
- [19] GUDZE, M.T.; MELCHERS, R.E.: *Prediction of Naval Ship Ballast Tank Corrosion Using Operational Profiles*, International Journal of Maritime Engineering, vol. 148, Part A3, 2006.
- [20] BAUK, S.; NIKOLIĆ, D.; IVOŠEVIĆ, Š.: *Corrosion Wastage Modeling for Different Member Locations of Aged Bulk Carriers*, Journal of Maritime Research, 1 (2010) 7, 27-40.
- [21] BAUK, S.; IVOŠEVIĆ, Š.: *Using Simulation to Analyze Corrosion Loss over some Transversal and Longitudinal Member Locations of Aged Bulk Carriers*, Вісник одеського національного морського університету, 31 (2010), 56-69.
- [22] BAUK, S.; IVOŠEVIĆ, Š.; NIKOLIĆ, D.: *The Corrosion Damages Modeling in Improving Safety of Aged Bulk Carriers*, Communications in Dependability and Quality Management – An International Journal, 1 (2010) 13, 19-28.
- [23] WANG, G.; LEE, A.; IVANOV, L.: *A Statistical Investigation of Time-Variant Hull Girder Strength of Aging Ships and Coating Life*, Journal of Marine Structures, 2-3 (2008) 21, 240-256.
- [24] IVANOV, L.; WANG, G.; SEAH, A.K.: *Evaluating Corrosion Wastage and Structural Safety of Aging Ships*, Proceedings of the Pacific International Conference, Sidney, Australia, February, 2004.
- [25] Internet resource: <http://www.ntrand.com/ntrandweibull>, downloaded in August, 2011.

**PROJEKTOVANJE METALNIH DIJELOVA NA
PROCJENJENOM MALOCIKLUSNOM ZAMORNOM
VIJEKU**

**DESIGN OF METAL PART ACCORDING TO
ESTIMATED LOWCYCLED FATIGUE LIFE**

Dr. Strain Posavljak

Univerzitet u Banjoj Luci, Mašinski fakultet,
BiH

PROJEKTOVANJE METALNIH DIJELOVA ZASNOVANO NA PROCJENJENOM MALOCIKLUSNOM ZAMORNOM VIJEKU

DESIGN OF METAL PART ACCORDING TO ESTIMATED LOWCYCLED FATIGUE LIFE

Dr. Strain Posavljak, dipl. inž., Univerzitet u Banjoj Luci, Mašinski fakultet
Vojvode Stepe Stepanovića 75, 78000 Banja Luka
e-mail: strain.posavljak@unibl.rs, straia@teol.net

Apstrakt – Metalne dijelove u ovom radu predstavljaju: ravne epruvete sa centralnim otvorom, dvije vrste ravnih diskova sa ekscentrično raspoređenim otvorima i disk prvog stepena rotora kompresora niskog pritiska avionskog motora R25-300. Malociklusni zamorni vijek ravnih epruvete sa centralnim otvorom, izrađenih od čelika 13H11N2V2MF u termički obrađenom stanju, dobijen je eksperimentalno. Epruvete su opterećivane blokovima pozitivno promjenljive sile. Za određivanje naponsko-deformacionog odziva u kritičnoj tački ovih epruveta, korišćen je Sonsino-Birger-ov pristup dok im je procjena malociklusnog zamornog vijeka izvršena primjenom Palmgren-Miner-ovog pravila (pravila linearne akumulacije oštećenja) podržanog Morrow-ovim krivima malociklusnog zamora. Rezultat procjene je upoređen sa najnižim eksperimentalno dobijenim rezultatom. Metodologija procjene malociklusnog zamornog vijeka, uspostavljena kod ravnih epruveta sa centralnim otvorom, primijenjena je kod ravnih diskova sa ekscentrično raspoređenim otvorima i kod diska prvog stepena rotora kompresora niskog pritiska avionskog motora R25-300. Procjena malociklusnog zamornog vijeka u polju centrifugalnih sila, izvršena je kod ravnog diska sa osam ekscentrično raspoređenih otvora i ravnog diska sa povećanim brojem ekscentrično raspoređenih otvora. Pretpostavljeno je da su isti izrađeni od čelika 13H11N2V2MF u isporučenom i termički obrađenom stanju. Razmatrajući ravne diskove sa ekscentrično raspoređenim otvorima, pokazano je kako i koliko ciklične karakteristike izabranog čelika, posebno, i u kombinaciji sa geometrijom, mogu uticati na malociklusni zamorni vijek metalnih dijelova. Osim toga, na osnovu procijenjenog malociklusnog zamornog vijeka ovih diskova, utvrđeno je da bi se povećan broj ekscentrično raspoređenih otvora mogao usvojiti i koristiti pri projektovanju zamorno otpornijih diskova avionskih motora i diskova drugih rotacionih mašina. Kod diska prvog stepena rotora kompresora niskog pritiska avionskog motora R25-300, dominantno izloženog djelovanju centrifugalnih sila lopatica i sopstvenih centrifugalnih sila, analizom procijenjenog malociklusnog zamornog vijeka, pokazano je da bi se pojava prijevremenih inicijalnih naprslina na postojećem disku mogla znatno odložiti, ako bi se za izradu diska nasljednika (novoprojektovanog diska), umjesto čelika 13H11N2V2MF u isporučenom stanju, koristila niklova legura Inconel 718.

1 UVOD

U ukupnom procesu projektovanja metalnih dijelova mašina i postrojenja, najvažnija faza je faza konstruisanja. Priprema proizvodnje, proizvodnja, verifikacija i validacija u mnogome zavise od odluka koje se donose u ovoj fazi.

Donošenje odluka u fazi konstruisanja usko je i uzajamno povezano sa aktivnostima koje se odnose na izbor oblika i dimenzija (geometrije), izbor materijala i izbor stanja površine konkretnog metalnog dijela. Pri tome se operiše sa izvjesnim parametrima koji su već kvantificirani ili se mogu kvantificirati. Za metalne dijelove izložene malociklusnom zamoru (MCZ), procijenjen malociklusni zamorni vijek (MCZV) ili vijek do iniciranja malociklusne zamorne naprsline, ključni je parametar.

Egzaktnih postupaka određivanja MCZV nema. Sve do sada poznato, zasniva se na procjeni koja podrazumijeva poznavanje: blokova promjenljivih opterećenja, cikličnih događaja unutar tih blokova, cikličnih karakteristika materijala korišćenih ili kandidovanih za izradu, nelinearnih naponsko-deformacionih odziva i oštećenja u kritičnim tačkama, izazvanih cikličnim događajima.

Glavno obilježje MCZ su elasto-plastične deformacije koje su lokalnog karaktera i po pravilu se javljaju u podnožjima neizbježnih zareza. U praksi se pokazalo da metalni dijelovi mnogih mašina i postrojenja rade u uslovima MCZ pri čemu i relativno mali broj ciklusa do njihovog razaranja može biti dugotrajan. Za primjer se mogu navesti kompresorski i turbinski diskovi avionskih motora, sudovi pod pritiskom, vodovodi i gasovodi, dijelovi građevinskih mašina, te dijelovi nuklearnih, hemijskih i metalurških postrojenja, itd. Projektovanje ovih dijelova po konceptu trajne dinamičke čvrstoće, bilo bi neracionalno.

Ravne epruvete sa centralnim otvorom, ravni diskovi sa ekscentrično raspoređenim otvorima i disk prvog stepena rotora kompresora niskog pritiska (disk 1. Stepena RKNP) avionskog motora R25-300, ovdje su razmatrani kao predstavnici metalnih dijelova. Ravne epruvete su poslužile za uspostavljanje metodologije procjene MCZV koja je u sličnoj formi primijenjena kod ravnih diskova sa ekscentrično raspoređenim otvorima kao i kod diska 1. stepena RKNP, navedenog avionskog motora. Što se tiče ravnih diskova, ovdje je istražena mogućnost projektovanja zamorno otpornijih diskova sa povećanim brojem ekscentrično raspoređenih otvora, a povod za to bila je avionska nesreća aviona DC-9-32 (8. Jun 1995. godine na pisti aerodroma u Atlanti, USA). Avion se zapalio jer su dijelovi polomljenog diska 7. stepena kompresora visokog pritiska, desnog motora (motora JTD8-15 firme Pratt & Whitney, USA), probili trup i glavnu gorivnu liniju. Radijalna inicijalna naprsina kod ovog diska, pojavila se na obe strane jednog od ekscentrično raspoređenih otvora [1]. Kod diska 1. stepena RKNP problem su prijevremene inicijalne naprsline zbog kojih mu se propisani radni vijek od 1200 časova leta [2] ne može dostići. Pretpostavljeno je da bi se pojava tih naprsina mogla odložiti, ako bi se umjesto čelika 13H11N2V2MF, za izradu diska koristila niklova legura Inconel 718.

2 RAVNE EPRUVETE SA CENTRALNIM OTVOROM

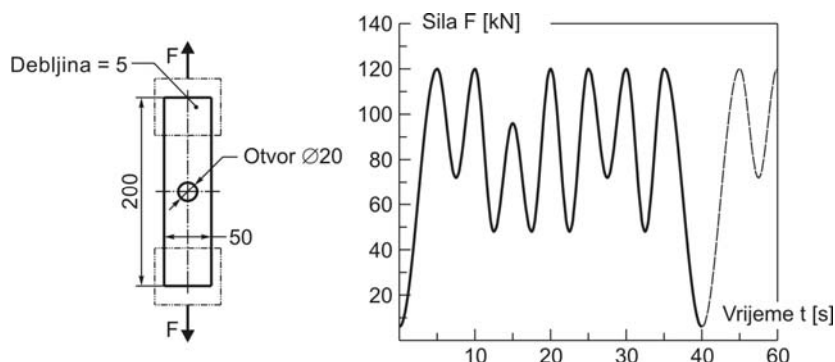
2.1 Materijal, geometrija, opterećenje i malociklusni zamorni vijek epruveta

Zadržaćemo se na tri ravne epruvete sa centralnim otvorom, izrađene od čelika 13H11N2V2MF u termički obrađenom stanju (zagrijavanje na 1000°C, kaljenje u ulju, otpuštanje na 640° i hlađenje na vazduhu). Ciklične karakteristike ovog čelika, sadržane su u Tablici 1.

Tablica 1. Ciklične karakteristike čelika 13H11N2V2MF u termički obrađenom stanju [3]

Karakteristika	Vrijednost
Modul elastičnosti, E [MPa]	229184,6
Koeficijent ciklične čvrstoće, K' [MPa]	1140,0
Eksponent cikličnog deformacionog ojačavanja, n	0,0579
Koeficijent zamorne čvrstoće, σ'_f [MPa]	1557,3
Eksponent zamorne čvrstoće, b	-0,0851
Koeficijent zamorne duktilnosti, ϵ'_f	0,3175
Eksponent zamorne duktilnosti, c	-0,7214

MCZV ravnih epruveta sa centralnim otvorom, označenih sa E1, E2 i E3, određen je eksperimentalno. Korišćenjem univerzalnog MTS sistema, epruvete su sa unaprijed definisanom geometrijom, opterećivane 40-sekundnim blokovima pozitivno promjenljive sile (Sl. 1). Rezultati eksperimentalno dobijenog MCZV uključeni su u Tablicu 2.



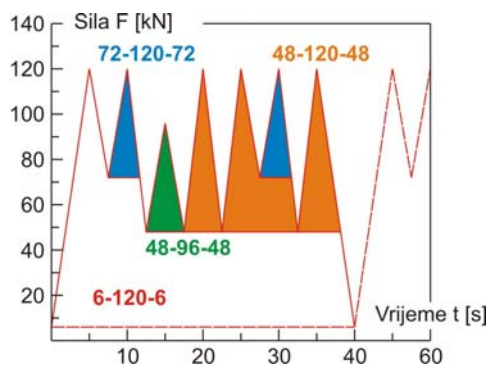
Sl. 1. Ravne epruvete sa centralnim otvorom: Geometrija i 40-sekundni blok pozitivno promjenljive sile

Tablica 2. Ravne epruvete sa centralnim otvorom: Rezultati eksperimentalno dobijenog MCZV [3]

Epruveta	MCZV [Blokova]
E1	4000
E2	3600
E3	4200

2.2 Ciklični događaji unutar bloka pozitivno promjenljive sile

U svrhu procjene MCZV ravnih epruveta sa centralnim otvorom, 40-sekundni blok pozitivno promjenljive sile je zadovoljavajuće modifikovan, a zatim su unutar takvog bloka identifikovani ciklični događaji definisani kao X-Y-X ciklusi (Sl. 2). Identifikacija je izvršena primjenom metoda "rezervoara" [3,4].



Sl. 2. Modifikovani 40-sekundni blok pozitivno promjenljive sile sa identifikovanim cikličnim događajima (X-Y-X ciklusima)

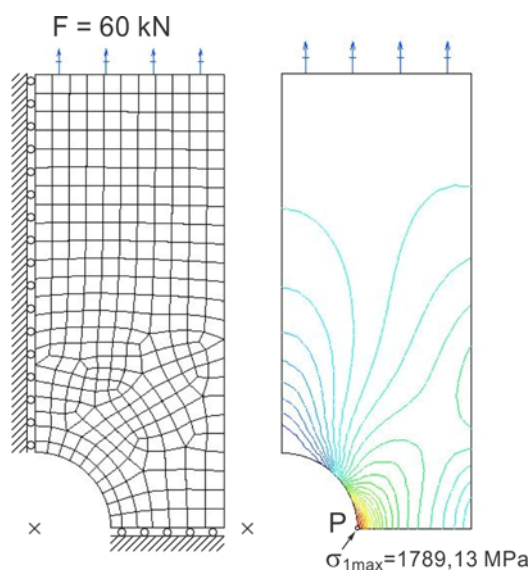
X-Y-X cikluse, sortirane prema nivou / i / i broju pojavljivanja / N_i / unutar bloka pozitivno promjenljive sile, sadrži Tablica 3.

Tablica 3. X-Y-X ciklusi unutar bloka pozitivno promjenljive sile
sortirani prema nivou / i / i broju pojavljivanja / N_i /

i	X _i -Y _i -X _i ciklusi [kN]	N_i
1	6-120-6	1
2	48-120-48	3
3	72-120-72	2
4	48-96-48	1

2.3 Naponsko-deformacioni odziv u kritičnoj tački epruveta

Na početku su ravne epruvete sa centralnim otvorom posmatrane kao idealno elastična tijela. Njihov linearni naponski odziv, izazvan maksimalnom silom $F_{max}=120$ kN, dobijen je primjenom Metoda Konačnih Elemenata (MKE) implementiranog u I-DEAS Master Series softver [5] i zasnovanog na teoriji sadržanoj u [6,7]. Svim “plane stress parabolic” konačnim elementima pridruženi su: modul elastičnosti $E=229184,6$ MPa, Poisson-ov koeficijent $\nu=0,29$ i modul klizanja $G=88831,24$ MPa. Debljina $t=5$ mm pridružena je kao fizička karakteristika. MKE model epruveta sa linearnim naponskim odzivom, prikazan je na Sl. 3.



Sl. 3. Ravne epruvete sa centralnim otvorom:
MKE model (lijevo) i linearni naponski odziv (desno)

Glavni normalni napon σ_1 , prema gornjoj slici, ima maksimalnu vrijednost u kritičnoj tački P, $\sigma_{1max} = \sigma_{1,P} = 1789,13$ MPa i isti je sa pripadajućom deformacijom nerealan jer je ($\sigma_{1max} = \sigma_{1,P} = 1789,13$ MPa) \gg ($R_m \approx 1000$ MPa). Ovo znači da se uistinu ne može govoriti o linearnosti naponsko-deformacionog odziva u kritičnoj tački P posmatranih epruveta, već se može govoriti samo o njegovoj nelinearnosti.

Napon za tačku koja je zadovoljavajuće udaljena od oblasti koncentracije napona, ovdje uzet kao nominalni napon $\sigma_n = 480$ MPa, jednak je odnosu sile F_{max} i površine punog presjeka epruvete ($A = 5 \cdot 50 = 250$ mm²).

Teorijski faktor koncentracije napona $K_t=3,727$, jednak odnosu napona $\sigma_{1,p}$ i pomenutog nominalnog napona σ_n , poslužio je za transformaciju linearnog naponsko-deformacionog odziva u kritičnoj tački epruveta, u nelinearan.

Nelinearni naponsko-deformacioni odziv u kritičnoj tački epruveta (uzeta u obzir memorija metala) definišu stabilizovane histereze pridružene svim i-tim ciklusima pozitivno promjenljive sile u Tablici 3.

Prva tačka nelinearnog naponsko-deformacionog odziva određena je rješavanjem sistema jednačina

$$\varepsilon = \frac{1}{2} \cdot \frac{K_t \cdot \sigma_{ni}}{E} \left(\frac{K_t \cdot \sigma_{ni}}{\sigma} + 1 \right) \quad \dots (1)$$

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} + \left(\frac{\sigma}{K'} \right)^{\frac{1}{n}} \quad i = 1$$

Dimenzije stabilizovanih histereza, $\Delta\varepsilon \times \Delta\sigma$, pridružene i-tim ciklusima pozitivno promjenljive sile, određene su rješavanjem sistema jednačina

$$\Delta\varepsilon = \frac{1}{2} \cdot \frac{K_t \cdot \Delta\sigma_{ni}}{E} \left(\frac{K_t \cdot \Delta\sigma_{ni}}{\Delta\sigma} + 1 \right) \quad \dots (2)$$

$$\Delta\varepsilon = \frac{\Delta\sigma}{E} + 2 \cdot \left(\frac{\Delta\sigma}{2K'} \right)^{\frac{1}{n}} \quad i = 1,2,3,4$$

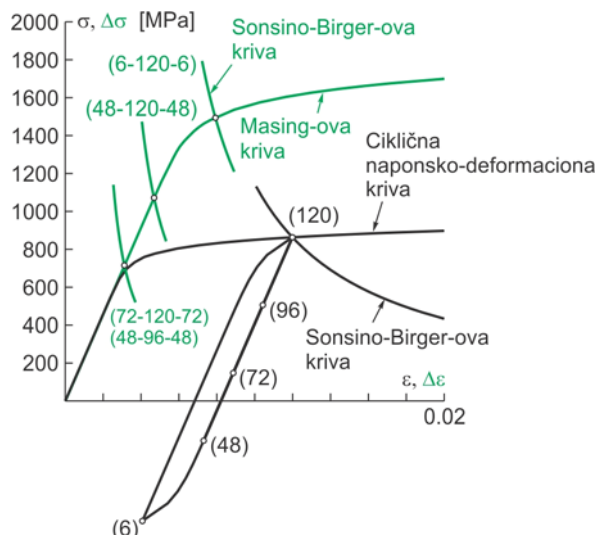
Sistemi (1) i (2) riješeni su na način opisan u [3]. Prve jednačine u tim sistemima, predstavljaju dva oblika Sonsino-Birger-ove krive [8,9]. Druga jednačina u sistemu (1) je jednačina ciklične naponsko-deformacione krive [10,11], a druga jednačina u sistemu (2) je jednačina Masing-ove krive [10]. Osim što je poslužila za određivanje dimenzija stabilizovanih histereza, Masing-ova kriva je poslužila i za njihovo modeliranje. Vrijednosti nominalnih napona σ_{ni} i njihovih raspona $\Delta\sigma_{ni}$, koje su korišćene u (1) i (2), dobijene su pomoću izraza

$$\sigma_{ni} = \frac{Y_i \cdot 10^3}{A} \quad \dots (3)$$

$$\Delta\sigma_{ni} = \frac{(Y_i - X_i) \cdot 10^3}{A} \quad i = 1,2,3,4$$

Vrijednosti cikličnih karakteristika u (1) i (2), sa poznatim K_t , uzete su iz Tablice 1.

Nelinearni naponsko-deformacioni odziv u kritičnoj tački epruveta, ili ovdje nazvan Sinsino-Birger-ov naponsko-deformacioni odziv izazvan blokom pozitivno promjenljive sile, prikazan je na Sl. 4, a u Tablici 4 su numerički rezultati ovog odziva izazvanog X-Y-X ciklusima.



Sl. 4. Ravne epruvete sa centralnim otvorom: Sonsino-Birger-ov naponsko-deformacioni odziv u kritičnoj tački, izazvan blokom pozitivno promjenljive sile

Tablica 4. Ravne epruvete sa centralnim otvorom: Numerički rezultati Sonsino-Birger-ovog naponsko-deformacionog odziva u kritičnoj tački, izazvanog X-Y-X ciklusima pozitivno promjenljive sile [3,12]

i	X _i -Y _i -X _i ciklusi [kN]	σ_{mi} [MPa]	$\sigma \sigma_i$ [MPa]	$\sigma \sigma_i$
1	6-120-6	115,114	1496,466	0,00791852
2	48-120-48	326,998	1072,699	0,00468495
3	72-120-72	505,556	715,582	0,00312229
4	48-96-48	148,439	715,582	0,00312229

Naponi σ_{mi} u prethodnoj tablici predstavljaju srednje napone, koji u značajnoj mjeri mogu umanjiti MCZV ako su pozitivni ili uvećati ako su negativni.

2.4 Procjena oštećenja i malociklusnog zamornog vijeka epruveta

Procjena oštećenja D, ravnih epruveta sa centralnim otvorom, kao oštećenja u njihovoj kritičnoj tački, izazvanog 40-sekundnim blokom pozitivno promjenljive sile, izvršena je primjenom Palmgren-Miner-ovog pravila linerne akumulacije [10,11,12,13,14,15], definisanog na način

$$D = \sum_{i=1}^4 D_i = \sum_{i=1}^4 \frac{N_i}{N_{fi}} \quad \dots (4)$$

Oštećenje izazvano i-tim X-Y-X ciklusom pozitivno promjenljive sile, u gornjem izrazu je označeno sa D_i. Ovo oštećenje predstavlja odnos broja pojavljivanja N_i, i-tog X-Y-X ciklusa, unutar posmatranog bloka pozitivno promjenljive sile, i broja N_{fi}, istog tog ciklusa, koji epruveta izrađena od čelika 13H11N2V2MF u termički obrađenom stanju, može izdržati do pojave inicijalne naprsline. Brojevi N_i su dati u Tablici 1, a brojevi N_{fi} su određeni korišćenjem Morrow-ove krive MCZ [10,12,16] predstavljene prvom jednačinom sljedećeg sistema jednačina

$$\frac{\Delta \varepsilon}{2} = \frac{\sigma_f' - \sigma_{mi}}{E} N_f^b + \varepsilon_f' N_f^c \quad \dots (5)$$

$$\frac{\Delta \varepsilon}{2} = \frac{\Delta \varepsilon_i}{2} \quad i = 1,2,3,4$$

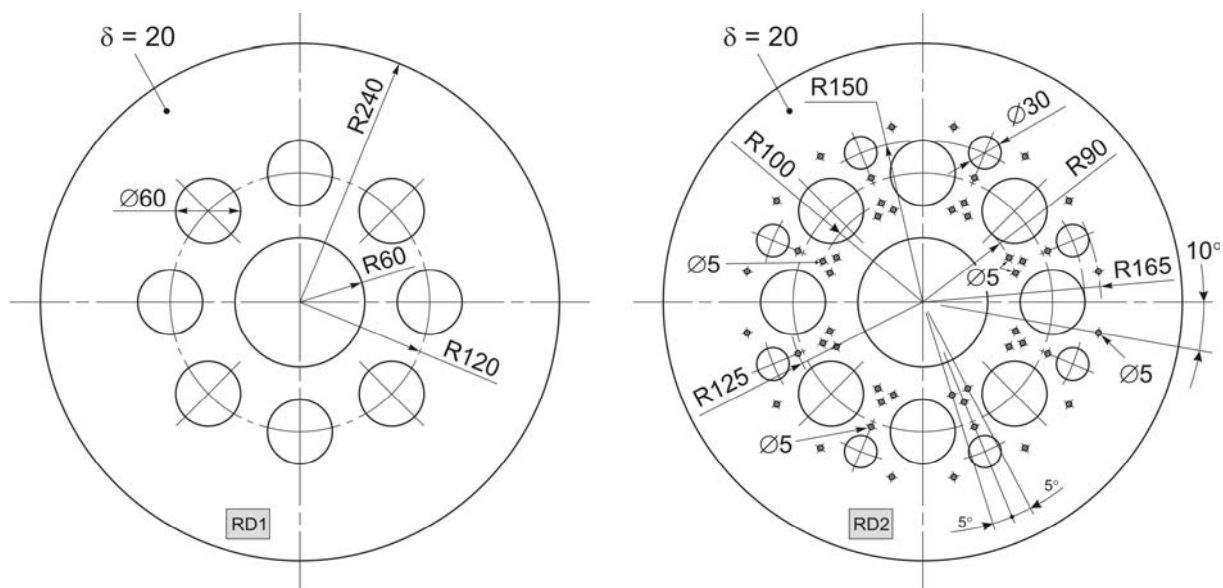
Drugom jednačinom sistema (5) predstavljeni su i-ti polurasponi Sonsino-Birger-ovih deformacionih odziva $\Delta \varepsilon_i$, sadržanih u zadnjoj koloni Tablice 4.

Sa podacima o N_{fi} ($i=1,2,3,4$) dobijenim rješavanjem sistema (5) i uvrštenim u (4), došlo se do vrijednosti oštećenja $D=0,000349002$ u kritičnoj tački ravnih epruveta sa centralnim otvorom, a zatim i do MCZV epruveta, $MCZV=1/D=2865$ blokova pozitivno promjenljive sile, što iznosi $\approx 80\%$ od najnižeg eksperimentalno dobijenog rezultata - 3600 blokova (Tablica 2).

3 RAVNI DISKOVI SA EKSCENTRIČNO RASPOREĐENIM OTVORIMA

3.1 Geometrija i materijal ravnih diskova

Geometrija ravnih diskova sa ekscentrično raspoređenim otvorima (diskova RD1 i RD2), definisana je skicom na Sl. 5. Disk RD1 ima centralni otvor $\varnothing 120$ i osam ekscentrično raspoređenih otvora $\varnothing 60$, a disk RD2, sem centralnog otvora i osam ekscentrično raspoređenih otvora $\varnothing 60$, ima još osam otvora $\varnothing 30$ i četrdesetosam otvora $\varnothing 5$.



Sl. 5. Skica ravnih diskova RD1 i RD2 [3]

Što se materijala tiče, neka su za izradu ovih diskova kandidovani materijali M1 i M2. Sa M1 je skraćeno označen čelik 13H11N2V2MF u isporučenom stanju, a sa M2 označen je isti taj čelik u termički obrađenom stanju. Ciklične karakteristike materijala M1, sadržane su u Tablici 5, dok su ciklične karakteristike materijala M2 već sadržane u Tablici 1.

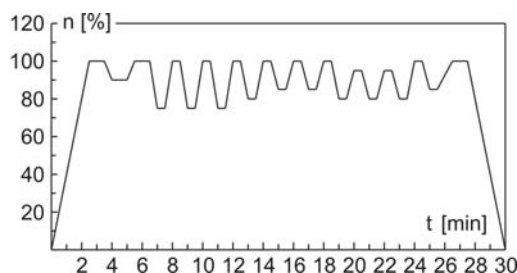
Tablica 5. Ciklične karakteristike materijala M1
(čelika 13H11N2V2MF u isporučenom stanju) [3]

Karakteristika	Vrijednost
Modul elastičnosti, E [MPa]	206682
Koeficijent ciklične čvrstoće, K' [MPa]	1103
Eksponent cikličnog deformacionog ojačavanja, n	0,118
Koeficijent zamorne čvrstoće, σ'_f [MPa]	1818,8
Eksponent zamorne čvrstoće, b	-0,144
Koeficijent zamorne duktilnosti, ε'_f	0,5351
Eksponent zamorne duktilnosti, c	-0,6619

Ravnim diskovima sa ekscentrično raspoređenim otvorima, zavisno od materijala kandidovanih za izradu, dodjeljivane su i proširene oznake: RD1-M1, RD1-M2, RD2-M1 i RD2-M2.

3.2 Pretpostavljeni blok opterećenja i ciklusi unutar njega

Saglasno Sl. 6, opterećenje diskova RD1 i RD2 definisano je pretpostavljenim blokom učestalosti obrtanja /n/ u vremenu /t/. Kod navedenih diskova su ovim blokom, na indirektan način, uzete u obzir sopstvene centrifugalne sile.



Sl. 6. Pretpostavljeni blok učestalosti obrtanja [3]

Pretpostavljeni blok učestalosti obrtanja, obrađen je slično 40-sekundnom bloku pozitivno promjenljive sile (Sl. 1) kojim su opterećivane ravne epruvete sa centralnim otvorom. Za krajnji rezultat te obrade imamo Tablicu 6 u kojoj se zapaža šest X-Y-X ciklusa učestalosti obrtanja.

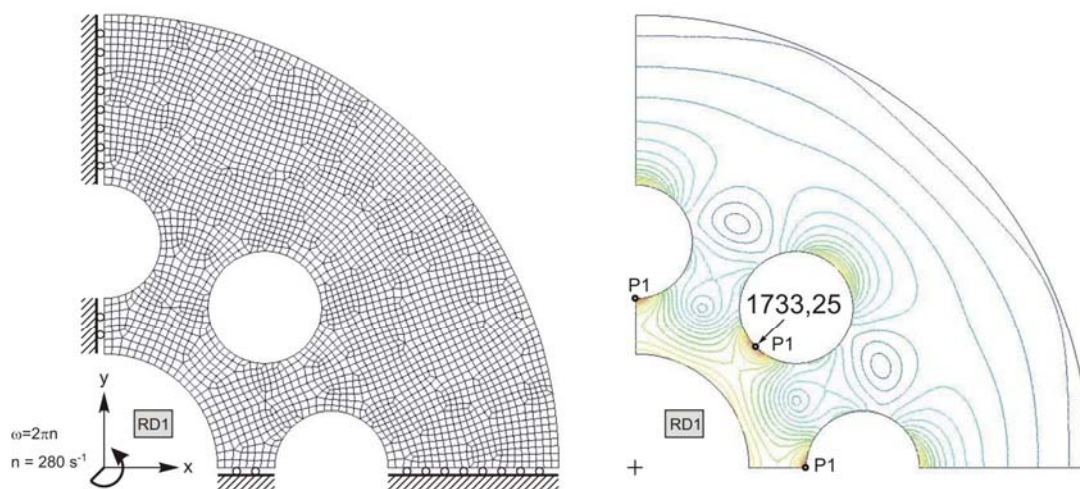
Tablica 6. X-Y-X ciklusi unutar pretpostavljenog bloka učestalosti obrtanja

i	X_i - Y_i - X_i [%]	N_i
1	0-100-0	1
2	75-100-75	3
3	80-100-80	2
4	85-100-85	3
5	90-100-90	1
6	80-95-80	2

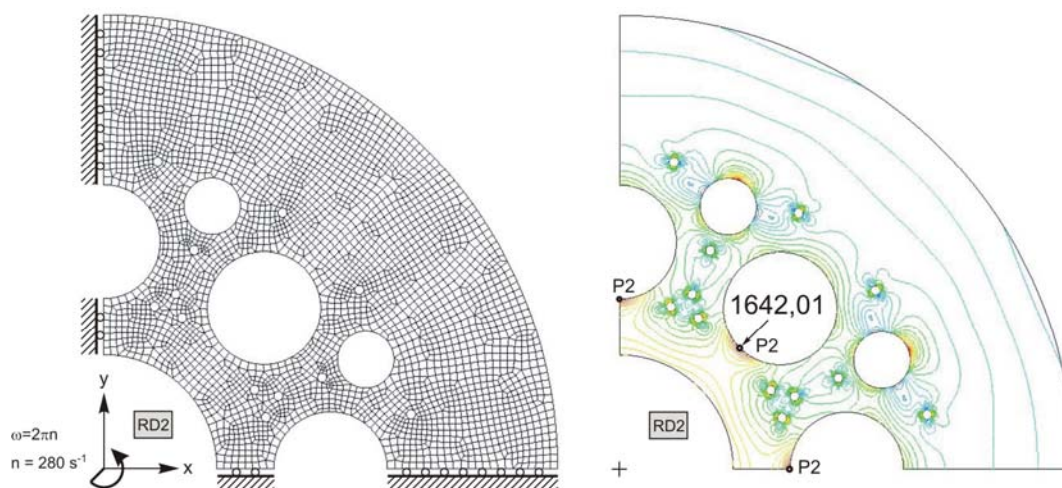
3.3 Naponsko-deformacioni odziv u kritičnim tačkama ravnih diskova

Primjenom MKE, slično ravnim epruvetama sa centralnim otvorom, dobijen je linearni naponski odziv diskova RD1 i RD2, u polju centrifugalnih sila. Zajedno sa ovim diskovima, dobijen je i linearni naponski odziv ravnog diska bez ekscentrično raspoređenih otvora (diska RD). Svi diskovi su posmatrani kao idealno elastična tijela.

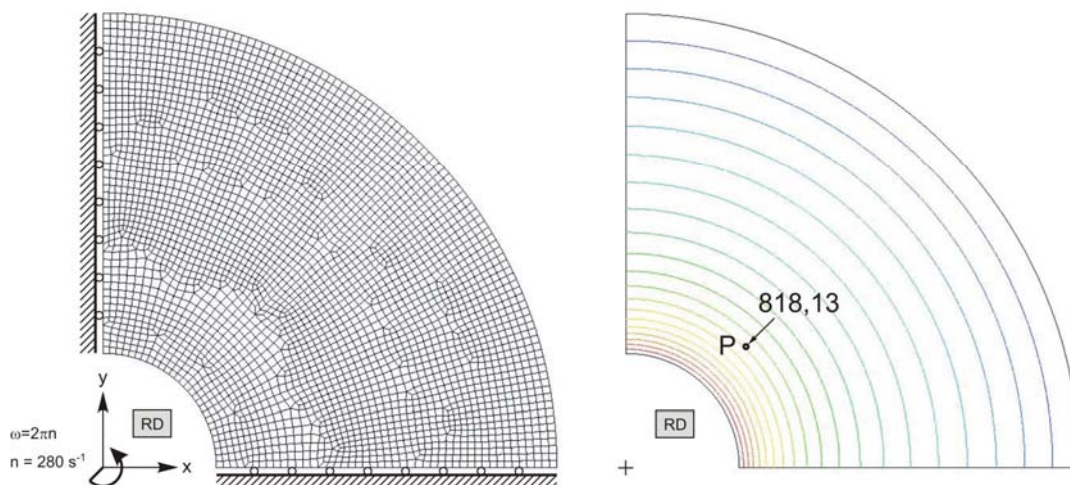
MKE modeli diskova RD1, RD2 i RD, zajedno sa linearnim naponskim odzivima, prikazani su na Sl. 7, Sl. 8 i Sl. 9.



Sl. 7. MKE model i linearni naponski odziv diska RD1 [3]



Sl. 8. MKE model i linearni naponski odziv diska RD2 [3]



Sl. 9. MKE model i linearni naponski odziv diska RD [3]

Prema Sl. 7 i Sl. 8, glavni normalni naponi σ_1 imaju maksimalne vrijednosti u kritičnim tačkama P1 i P2, diskova RD1 i RD2, i isti iznose: $\sigma_{1,P1}=1733,25$ MPa i $\sigma_{1,P2}=1642,01$ MPa. Radijus položaja tačkaka P1 i P2 je $R = 90$ mm. Napon u tačkaka sa ovim radijusom položaja, na disku RD, prihvaćen kao nominalni napon $\sigma_n=\sigma_{n1}=\sigma_{n2}=818,13$ MPa, poslužio je za određivanje teorijskih faktora koncentracije napona $K_{t1}=2,118$ i $K_{t2}=2,007$, pomoću izraza

$$K_{tj} = \frac{\sigma_{1,Pj}}{\sigma_{nj}} \quad j = 1, 2 \quad \dots (6)$$

Indeksi $j=1$ u (6) odnosi se na disk RD1, a indeks $j=2$ na disk RD2.

Faktori koncentracije napona K_{t1} i K_{t2} poslužili su za određivanje nelinearnog (Sonsino-Birger-ovog) naponsko-deformacionog odziva u RD1 i RD2 kritičnim tačkaka.

Sonsino-Birger-ov naponsko-deformacioni odziv u RD1 i RD2 kritičnim tačkaka, određen je na način koji je sličan načinu određivanja tog istog naponsko-deformacionog odziva u kritičnoj tački ravnih epruveta sa centralnim otvorom. Za to su, u prilagođenom obliku, primijenjeni sistemi jednačina (1) i (2).

Prve tačke Sonsino-Birger-ovog naponsko-deformacionog odziva određene su za maksimalnu učestalost obrtanja $n=100\%$ ($=280\text{ s}^{-1}$).

U prilagođenim sistemima jednačina (1) i (2), indeksi i , vezani za i -te cikluse učestalosti obrtanja (Tablica 6), imali su vrijednosti $i = 1, \dots, 6$. Potrebne ciklične karakteristika materijala M1 i M2, u tim sistemima, uzete su iz Tablice 5 i Tablice 1, dok su potrebni podaci o nominalnim naponima σ_{ni} i njihovim rasponima $\Delta\sigma_{ni}$, za i -te cikluse učestalosti obrtanja, određeni pomoću izraza

$$\sigma_{ni} = 818,13 \cdot \left(\frac{Y_i}{100} \right)^2$$

$$\Delta\sigma_{ni} = 818,13 \cdot \left[\left(\frac{Y_i}{100} \right)^2 - \left(\frac{X_i}{100} \right)^2 \right] \quad i = 1, \dots, 6 \quad \dots (7)$$

Numerički rezultati Sonsino-Birger-ovog naponsko-deformacionog odziva u RD1-M1, RD1-M2, RD2-M1 i RD2-M2 kritičnim tačkama, uključeni su u Tablicu 7 i Tablicu 8.

Tablica 7. Numerički rezultati Sonsino-Birger-ovog naponsko-deformacionog odziva u RD1-M1 i RD1-M2 kritičnim tačkama

i	$X_i - Y_i - X_i$ [kN]	RD1-M1			RD1-M2		
		σ_{mi} [MPa]	$\Delta\sigma_i$ [MPa]	$\Delta\varepsilon_i$	σ_{mi} [MPa]	$\Delta\sigma_i$ [MPa]	$\Delta\varepsilon_i$
1	0-100-0	105,404	1099,605	0,01079777	106,555	1506,355	0,00812898
2	75-100-75	288,278	733,858	0,00372854	480,688	758,089	0,00330776
3	80-100-80	346,150	618,114	0,00303218	547,824	623,816	0,00272188
4	85-100-85	415,122	480,169	0,00232813	619,310	480,845	0,00209809
5	90-100-90	490,615	329,183	0,00159294	695,124	329,216	0,00143649
6	80-95-80	264,315	454,444	0,00220182	463,345	454,850	0,00198469

Tablica 8. Numerički rezultati Sonsino-Birger-ovog naponsko-deformacionog odziva u RD2-M1 i RD2-M2 kritičnim tačkama

i	$X_i - Y_i - X_i$ [kN]	RD2-M1			RD2-M2		
		σ_{mi} [MPa]	$\Delta\sigma_i$ [MPa]	$\Delta\varepsilon_i$	σ_{mi} [MPa]	$\Delta\sigma_i$ [MPa]	$\Delta\varepsilon_i$
1	0-100-0	106,380	1081,749	0,01000000	114,725	1477,611	0,00756301
2	75-100-75	296,394	701,720	0,00351693	494,348	718,365	0,00313446
3	80-100-80	353,548	587,412	0,00286906	557,964	591,133	0,00257925
4	85-100-85	419,645	455,219	0,00220561	625,708	455,645	0,00198812
5	90-100-90	491,281	311,947	0,00150942	697,545	311,971	0,00136121
6	80-95-80	275,220	430,755	0,00208608	477,910	431,025	0,00188067

3.4 Procjena oštećenja i malociklusnog zamornog vijeka ravnih diskova

Oštećenja u RD1 i RD2 kritičnim tačkama, izazvana pretpostavljenim blokom učestalosti obrtanja na Sl. 6, kao i kod ravne epruvete sa centralnim otvorom, procijenjena su primjenom Palmgren-Miner-ovog pravila. Primijenjen je izraz (4) u kojem je indeks i , vezan za i -te cikluse učestalosti obrtanja, imao vrijednosti $i=1, \dots, 6$. Potrebni brojevi N_i u (4) uzeti su iz Tablice 6, a brojevi N_{fi} su određeni pomoću prilagođenog sistema (5). Na kraju se došlo do Tablice 9, Tablice 10 i Tablice 11.

Tablica 9. Podaci o N_{fi} , D_i , D i MCZV diskova RD1-M1 i RD1-M2

i	$X_i-Y_i-X_i$ [%]	N_i	RD1-M1		RD1-M2	
			N_{fi}	D_i	N_{fi}	D_i
1	0-100-0	1	2853	0,000350508	3414	0,000292912
2	75-100-75	3	63012	0,000047610	278304	0,000010780
3	80-100-80	2	134695	0,000014848	1111414	0,000001800
4	85-100-85	3	401176	0,000007478	9162732	0,000000327
5	90-100-90	1	2596886	0,000000385	283366169	0,000000004
6	80-95-80	2	922968	0,000002167	104369595	0,000000019
MCZV = 1/D			D =	0,000422997	D =	0,000305841
			MCZV =	2364	MCZV =	3269

Tablica 10. Podaci o N_{fi} , D_i , D i MCZV diskova RD2-M1 i RD2-M2

i	$X_i-Y_i-X_i$ [%]	N_i	RD2-M1		RD2-M2	
			N_{fi}	D_i	N_{fi}	D_i
1	0-100-0	1	3450	0,000289855	4676	0,000213858
2	75-100-75	3	79042	0,000037955	424450	0,000007068
3	80-100-80	2	170925	0,000011701	1801598	0,000001110
4	85-100-85	3	526693	0,000005696	15761770	0,000000190
5	90-100-90	1	3608627	0,000000277	515276101	0,000000002
6	80-95-80	2	1217931	0,000001642	167585330	0,000000012
MCZV = 1/D			D =	0,000347126	D =	0,000222240
			MCZV =	2880	MCZV =	4499

Tablica 11. Zbirni podaci o procijenjenom MCZV diskova RD1 i RD2

		MCZV [Blokova]		Povećanje MCZV [%]
		RD1	RD2	
		(1)	(2)	$[(2)/(1)] \times 100$
Materijal M1	(1)	2364	2880	21,83
Materijal M2	(2)	3269	4499	37,63
Povećanje MCZV [%]	$[(2)/(1)] \times 100$	38,28	56,21	

Tablicom 11 je pokazano da bi se povećan broj ekscentrično raspoređenih otvora mogao usvojiti i primijeniti u svrhu projektovanja lakših i zamorno otpornijih diskova avionskih motora kao i diskova drugih rotacionih mašina.

4 DISK PRVOG STEPENA ROTORA KOMPRESORA NISKOG PRITISKA AVIONSKOG MOTORA R25-300

4.1 Propisani i praktični malociklusni zamorni vijek postojećeg diska

Propisani MCZV postojećeg diska 1. stepena RKNP avionskog motora R25-300 (1200 časova leta), koji se zbog prijevremenih inicijalnih naprslina ne može dostići, već je istaknut u uvodnom dijelu ovog rada. Praćenjem uzorka od 79 diskova prikupljeno je dovoljno podataka o ultrazvučno otkrivenim prijevremenim inicijalnim naprslinama (ultrazvučna kontrola vršena je na svakih 25 ± 5 časova leta). Ti podaci su statistički obrađeni, i kao završni rezultat obrade, dobijen je Weibull-ov izraz [3,17]

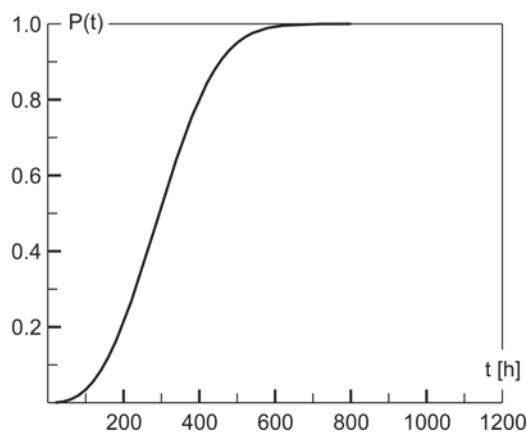
$$P(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{336}\right)^{2.764}} \quad \dots (8)$$

gdje su: $P(t)$ – vjerovatnoća pojave prijevremenih inicijalnih naprslina i t – vrijeme izraženo u časovima leta.

Karakteristične Weibull-ove vjerovatnoće su $P(t)=0,001$ i $P(t)=0,999$. Sa ovim vjerovatnoćama, pojava prijevremenih inicijalnih naprslina može se očekivati u intervalu od 28–676 časova leta, što odgovara praktičnom radnom vijeku (ili praktičnom MCZV) postojećeg diska.

Postojeći diskovi se i dalje iz bezbjednosnih razloga podvrgavaju ultrazvučnoj kontroli poslije svakih 25 ± 5 časova leta. Ovaj vremenski interval, korišćen i pri prikupljanju podataka o pojavi prijevremenih inicijalnih naprslina, praktično je potvrđen jer za $P(t)=0,001$ imamo $MCZV=28$ časova leta.

Weibull-ova raspodjela praktičnog MCZV postojećeg diska prikazana je na Sl. 10.

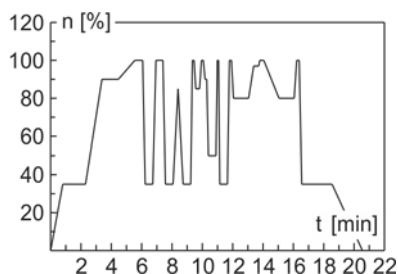


Sl. 10. Weibull-ova raspodjela praktičnog MCZV postojećeg diska [3,17]

Na prethodnoj slici se uočava nedostiznost MCZV, pa se može pretpostaviti da možda geometrija postojećeg diska nije srećno izabrana ili da nisu ostvarene zadovoljavajuće ciklične karakteristike čelik 13H11N2V2MF koji se koristi za njegovu izradu, ili je u pitanju i jedno i drugo. Ovoga puta pošlo se od pretpostavke da nisu ostvarene zadovoljavajuće ciklične karakteristike navedenog čelika.

4.2 Blok učestalosti obrtanja i ciklični događaji u njemu

Dominantna opterećenja diska 1. stepena RKNP motora R25-300 su centrifugalne sile lopatica i sopstvene centrifugalne sile. Uticaj ovih sila na MCZV, indirektno se pokriva blokovima učestalosti obrtanja /n/ u vremenu /t/, kojima se opisuju razne provjere motora na zemlji kao i razni letovi. U slučaju navedenog diska, u obzir je uzet blok učestalosti obrtanja pri provjeri motora R25-300 nakon ugradnje u avion (Sl. 11).



Sl. 11. Blok učestalosti obrtanja pri provjeri motora R25-300 nakon ugradnje u avion

Metodom “rezervoara” identifikovane X-Y-X cikluse (ciklične događaje), unutar gore prikazanog bloka učestalosti obrtanja, sadrži Tablica 12.

Tablica 12. X-Y-X ciklusi (ciklični događaji) unutar bloka učestalosti obrtanja pri provjeri motora R25-300 nakon ugradnje u avion

i	$X_i-Y_i-X_i$ [%]	N_i
1	0-100-0	1
2	35-100-35	3
3	50-100-50	1
4	80-100-80	2
5	85-100-85	1
6	35-85-35	1

4.3 Mogućnost odlaganja pojave prijevremenih inicijalnih naprslina

Jedini način da se pojava prijevremenih inicijalnih naprslina na postojećem disku 1. stepena RKNP motora R25-300 odloži, tj. da se MCZV diska poveća, je da se pokrene projekat osvajanja novog diska (diska nasljednika). To je svojevremeno i učinjeno, ali je projekat prekinut u trenutku kad je umjesto originalnog materijala, čelika 13H11N2V2MF, za izradu probne partije otkovaka diska nasljednika, upotrijebljena niklova legura Inconel 718. Ovdje je sa određene vremenske distance postavljeno pitanje, da li bi se i za koliko, pojava prijevremenih inicijalnih naprslina sa diskom nasljednikom, mogla odložiti?. U svrhu traganja za odgovorom, izvršena je procjena oštećenja u kritičnim tačkama oba diska (oštećenja izazvanih blokom učestalosti obrtanja na Sl. 11), a zatim je izvršena i procjena njihovog MCZV.

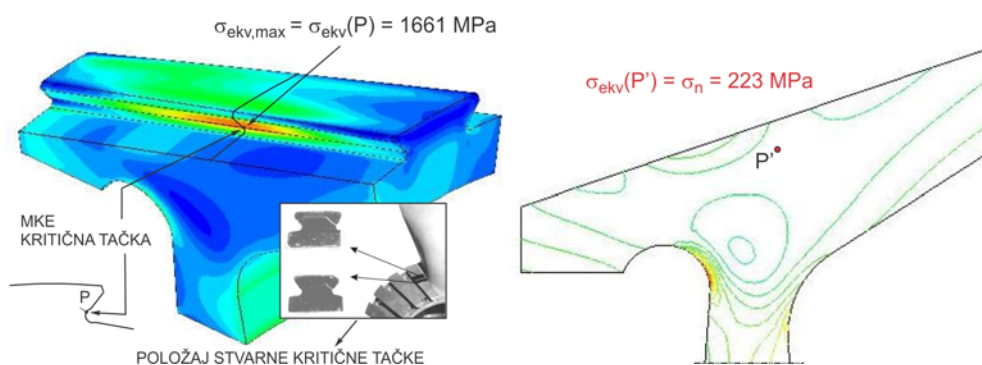
Neka su ciklične karakteristike materijala za izradu postojećeg diska (čelika 13H11N2V2MF u isporučenom stanju), one koje imamo u Tablici 5 i neka su pretpostavljene ciklične karakteristike niklove legure Incinel 718, od koje su proizvedeni otkovci diska nasljednika, one u Tablici 13.

Tablica 13. Ciklične karakteristike niklove legure Inconel 718
[17,18]

Karakteristika	Vrijednost
Modul elastičnosti, E [MPa]	208500
Koeficijent ciklične čvrstoće, K' [MPa]	1530
Eksponent cikličnog deformacionog ojačavanja, n	0,07
Koeficijent zamorne čvrstoće, σ'_f [MPa]	1640
Eksponent zamorne čvrstoće, b	-0,06
Koeficijent zamorne duktilnosti, ϵ'_f	2,67
Eksponent zamorne duktilnosti, c	-0,82

Da bi procijenili oštećenja u kritičnim tačkama postojećeg diska i diska nasljednika, izazvana blokom učestalosti obrtanja na Sl. 11, a zatim i njihov MCZV, neophodno je bilo raspolagati sa naponsko-deformacionim odzivima u kritičnim tačkama tih diskova, takođe izazvanim pomenutim blokom učestalosti obrtanja. Saglasno ovom, za početak je bilo dovoljno posmatrati jednu lopaticu i kritičnu oblast diska kao dva odvojena idealno elastične tijela.

Linearni naponski odziv lopatice (izrađene od čelika 13H11N2V2MF) i čvrne reakcije na kontaktnim površinama njenog korjena, za maksimalnu učestalosti obrtanja $n=186 \text{ s}^{-1}$ ($n=100\%$), dobijeni su primjenom MKE. Za dobijanje linearnog naponskog odziva kritične oblasti postojećeg diska, primjenom MKE pri istoj učestalosti obrtanja, pomenute reakcije su u transformisanom obliku korišćene kao aktivne čvrne sile. Linearni osnosimetrični naponski odziv postojećeg diska, kad je isti posmatran kao blisk (bladed disk, disk sa integrisanim lopaticama), takođe je dobijen primjenom MKE (Sl. 12). Korišćenim konačnim elementima pridruženi su: modul elastičnosti $E=206682 \text{ MPa}$, Poisson-ov koeficijent $\nu=0,29$ i modul klizanja $G=80109,3 \text{ MPa}$.



Sl. 12. Linearni naponski odziv kritične oblasti postojećeg diska (lijevo) sa linearnim osnosimetričnim naponskim odzivom bliska (desno) [17]

Na Sl. 12 se vidi da položaj MKE kritične tačke odgovara položaju stvarne kritične tačke diska 1. stepena RKNP motora R25-300.

Maksimalni Mises-ov ekvivalentni napon $\sigma_{ekv,max}$, u MKE kritičnoj tački P postojećeg diska, kao i pripadajuća deformacija, zbog idealizovane elastičnosti su nerealni, ($\sigma_{ekv,max}=1661 \text{ MPa}$) \gg ($R_m \approx 813 \text{ MPa}$).

Ekvivalentni napon u tački P' bliska, koja položajno odgovara MKE kritičnoj tački P postojećeg diska, uzet kao nominalni napon, poslužio je za sračunavanje tzv. ekvivalentnog faktora koncentracije napona $K_{ekv} = \sigma_{ekv}(P) / \sigma_n = 7,45$.

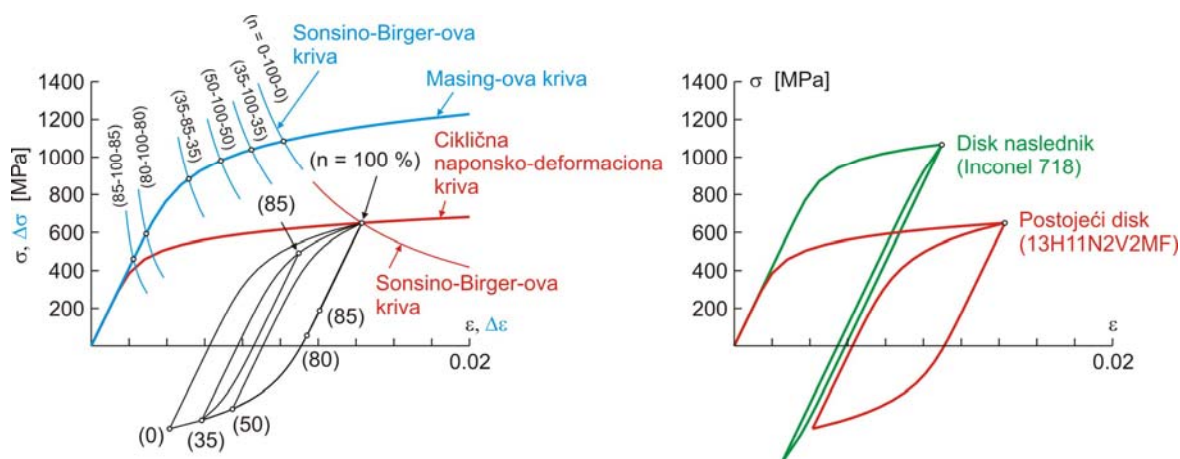
Nelinearni (Sonsino-Birger-ov) naponsko-deformacioni odziv u kritičnoj tački postojećeg diska i diska nasljednika, ovdje je definisan stabilizovanim histerezama pridruženim svim X-Y-X ciklusima učestalosti obrtanja, sadržanim u Tablici 12.

Prva tačka Sonsino-Birger-ovog naponsko-deformacionog odziva, za $i=1$ i za maksimalnu učestalost obrtanja ($n=100\%$), dobijena je rješavanjem sistema sličnog sistemu (1), a dimenzije stabilizovanih histereza, $\Delta\epsilon \times \Delta\sigma$, određene su rješavanjem sistema sličnog sistemu (2). Indeks i u (1) i (2), vezan za i -te cikluse učestalosti obrtanja, imao je vrijednosti $i=1, \dots, 6$. Potrebne ciklične karakteristike čelika 13H11N2V2MF u termički obrađenom stanju i niklove legure Inconel 718, u navedenim sistemima, uzete su iz Tablice 1 i Tablice 13. K_t je u tim istim sistemima zamijenjen sa K_{ekv} .

Nominalnih napona σ_{ni} , kao i rasponi ovih napona $\Delta\sigma_{ni}$, za i -te cikluse u bloku učestalosti obrtanja, korišćeni pri rješavanju sistema sličnih sistemima (1) i (2), sračunati su pomoću izraza sličnih izrazima (7), samo se umjesto faktora $818,13=\sigma_n$ (kod diskova RD1 i RD2), u slučaju postojećeg diska koristio faktor $223=\sigma_{n,1}$, a u slučaju diska nasljednika faktor $233,8=\sigma_{n,2}$ (u MPa). Ovaj drugi faktor jednak je proizvodu odnosa specifičnih masa niklove legure Inconel 718 (8200 kg/m^3) i čelika 13H11N2V2MF (7820 kg/m^3) i napona $\sigma_{n,1}$.

Kod postojećeg diska i diska nasljednika prihvaćena je približna jednakost Poisson-ovih koeficijenata niklove legure Inconel 718 i čelika 13H11N2V2MF ($\nu=0.29$). Za istu geometriju prihvaćena je i jednakost ekvivalentnih faktora koncentracije napona ($K_{ekv}=7,45$).

Sonsino-Birger-ov naponsko-deformacioni odziv u kritičnoj tački postojećeg diska, izazvan blokom učestalosti obrtanja na Sl.11 i isti naponsko-deformacioni odziv za oba diska, izazvan samo 0-100-0 ciklusom učestalosti obrtanja unutar tog bloka, prikazani su na Sl. 13.



Sl. 13. Sonsino-Birger-ov naponsko-deformacioni odziv u kritičnoj tački postojećeg diska, izazvan posmatranim blokom učestalosti obrtanja (lijevo) i isti naponsko-deformacioni odziv oba diska izazvan samo 0-100-0 ciklusom učestalosti obrtanja (desno) [17]

Numerički rezultati Sonsino-Birger-ovog naponsko-deformacionog odziva u kritičnoj tački postojećeg diska i diska nasljednika, za X-Y-X cikluse učestalosti obrtanja, sadrži Tablica 14.

Tabelica 14. Numerički rezultati Sonsino-Birger-ovog naponsko-deformacionog odziva u kritičnoj tački postojećeg diska i diska nasljednika, za X-Y-X cikluse učestalosti obrtanja

i	X _i -Y _i -X _i [%]	Postojeći disk			Disk nasljednik		
		σ _{mi} [MPa]	σ _i [MPa]	σ _i	σ _{mi} [MPa]	σ _i [MPa]	σ _i
1	0-100-0	106,149	1085,673	0,01016932	224,571	1686,468	0,00849104
2	35-100-35	128,664	1040,643	0,00846854	309,555	1516,500	0,00736166
3	50-100-50	158,157	981,656	0,00684357	415,161	1305,288	0,00627076
4	80-100-80	351,909	594,152	0,00290441	754,161	627,290	0,00300860
5	85-100-85	418,642	460,687	0,00223237	826,056	483,498	0,00231896
6	35-85-35	50,092	883,498	0,00513218	73,892	1045,174	0,00501322

Oštećenja u položajno istim kritičnim tačkama postojećeg diska i diska nasljednika, izazvana blokom učestalosti obrtanja pri provjeri motora R25-300 nakon ugradnje u avion, ovdje su sračunata na način sličan onom kod ravnih epruveta sa centralnim otvorom i kod ravnih diskova sa ekscentrično raspoređenim otvorima. Samo je bilo potrebno izraz (4) i sistem (5) prilagoditi ovom problemu.

Proglašenjem 0-100-0 ciklusa učestalosti obrtanja, ekvivalentnim ciklusom (EC), i oštećenja njime izazvanog, oštećenjem D_{EC} [19,20], dobijena je šansa za sračunavanje broja ekvivalentnih ciklusa N_{EC}, potrošenih za vrijeme provjere motora R25-300 nakon ugradnje u avion, pomoću izraza

$$(N_{EC})_j = \sum_{i=1}^6 \left(\frac{D_i}{D_{EC}} \right)_j \quad j=1,2 \quad \dots (9)$$

Indeks j=1 u (9) vezan je za postojeći disk, a indeks j=2 za disk nasljednik.

Skup podataka o N_i, N_{fi}, D_i, D_i/D_{EC}, N_{EC,1} i N_{EC,2}, za blok učestalosti obrtanja pri provjeri motora R25-300 nakon ugradnje u avion, sadrži Tablica 15.

Tablica 15. Skup podataka o N_i, N_{fi}, D_i, D_i/D_{EC}, N_{EC,1} i N_{EC,2}, za blok učestalosti obrtanja pri provjeri motora R25-300 nakon ugradnje u avion [17]

i	X _i -Y _i -X _i	Postojeći disk				Disk nasljednik		
		N _i	N _{fi}	D _i	D _i /D _{EC}	N _{fi}	D _i	D _i /D _{EC}
1	0-100-0	1	3308	0,00030230	1,000	29185	0,00003426	1,000
2	35-100-35	3	5226	0,00057405	1,899	52827	0,00005679	1,658
3	50-100-50	1	9278	0,00010778	0,357	106241	0,00000941	0,275
4	80-100-80	2	162040	0,00001234	0,041	33418272	0,00000006	0,002
5	85-100-85	1	495345	0,00000202	0,007	613896277	0,00000000	0,000
6	35-85-35	1	28078	0,00003562	0,118	88339512	0,00000001	0,000
N_{EC,1} = 3,421					N_{EC,2} = 2,935			

Sa N_{EC,1}=3,421 EC/Blok i N_{EC,2}=2,935 EC/Blok, u prethodnoj tablici, označene su “potrošnje” ekvivalentnih ciklusa kod postojećeg diska i diska nasljednika, za vrijeme provjere motora R25-300 nakon ugradnje u avion.

MCZV postojećeg diska i MCZV diska nasljednika, jednak je brojevima N_{f1} u Tablici 15 i može se reći da važi: $MCZV_1 = 3308 \text{ EC}$ (kod postojećeg diska) i $MCZV_2 = 29185 \text{ EC}$ (kod diska nasljednika).

U uslovima ispitivanja sa blokovima učestalosti obrtanja definisanim na Sl. 11, mogli bi očekivati pojavu malociklusnih zamornih naprslina posle $N_{B,1} = 3308/3,421 = 967$ blokova (kod postojećeg diska) i $N_{B,2} = 29185/2,935 = 9944$ blokova (kod diska nasljednika). Broj izdržanih blokova učestalosti obrtanja bio bi $\approx 10,3$ puta veći kod diska nasljednika, što opravdava pretpostavku da bi se pojava prijevremenih inicijalnih naprslina na disku 1. stepena RKNP motora R25-300 mogla odložiti, i to značajno, ako bi se umjesto čelika 13H11N2V2MF, za izradu diska koristila niklova legura Inconel 718 kojoj su ciklične karakteristike sadržane u Tablici 13.

5 ZAKLJUČAK

Metodologija procjene MCZV, ovdje razmatranih metalnih dijelova, može se u sličnoj formi primijeniti i kod ostalih metalnih dijelova mašina i postrojenja koji rade u uslovima MCZ.

Uticaj cikličnih karakteristika izabranog metalnog materijala na MCZV konkretnog mašinskog dijela je očigledan, kako na primjeru ravnih diskova sa ekscentrično raspoređenim otvorima tako i na primjeru diska 1. Stepena RKNP avionskog motora R25-300.

Zadovoljavajući rezultat procjene MCZV metalnih dijelova, nekad je moguće postići samo geometrijom, nekada samo cikličnim karakteristikama materijala primijenjenog ili kandidovanog za izradu, a nekada kombinacijom jednog i drugog.

Za diskove avionskih motora, u dominantno uticajnom polju centrifugalnih sila, potrebno je u svrhu održavanja motora prema stanju, pratiti "potrošnju" ekvivalentnih ciklusa za svaku od provjera motora na zemlji kao i za svaki realizovani let. U trenutku dostizanja MCZV izraženog u ekvivalentnim ciklusima, diskove povući iz eksploatacije.

Procjenu MCZV treba uvesti kao obaveznu aktivnost u plan realizacije projekata osvajanja novih ili reosvajanja postojećih metalnih dijelova izloženih MCZ, a sve u svrhu donošenja validnih odluka u fazi konstruisanja.

REFERENCE

- [1] Aircraft Accident Report – *Uncontained Engine Failure/Fire Valujet Airlines Flight 597 Douglas DC-9-32, N908VJ*, Atlanta, Georgia, Jun 8, 1995, National Transportation Safety Board, Report No. NTSB/AAR-96/03.
- [2] KRČEDINAC, D. (1993) *Dinamička izdržljivost na niskociklični zamor i procena veka rada obrtnih delova TMM*, Specijalistički rad, Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet.
- [3] POSAVLJAK, S. (2008) *Istraživanje zamornog vijeka rotacionih diskova avionskih motora*, Doktorska disertacija, Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet.
- [4] KOSTAES, D. (1994) *Fatigue Behaviour and Analysis*, Talat Lecture 2401, Technische Universität München, EAA – European Aluminium Association.
- [5] LAWRY, M. H. (1998) *I-DEAS Master Series, Mechanical CAE/CAD/CAM Software*, Student Guide, Structural Dynamics Research Corporation, SDRC Part Number P-60002.
- [6] ZIENKIEWICZ, O. C. (1977) *The Finite Element Method*, Third Edition, McGraw – Hill Book Company (UK) Limited, London 1977.

- [7] KRISHNAMOORTZ, C. S. (1987) *Finite Element Analyses, Theory and Programming*, Tata McGraw – Hill Publishing Company Limited, New Delhi.
- [8] SONSINO, C.M. (1982) *Einfluss von Kaltverformungen bis 5% auf das Kurzzeitschwingfestigkeits-verhalten metallischer Werkstoffe*, Dissertation, Vom Fachbereich Maschinenbau an der Technischen Hochschule Darmstadt.
- [9] BIRGER, I. A. (1985) Prognoziranje resursa pri malociklovoj ustalosti, Problemy prochnosti, No 10, 39-44.
- [10] BANNANTINE, J.A., COMER, J., HANDROCK, J. (1990) *Fundamentals of Material Fatigue Analysis*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
- [11] JANKOVIC, M. (2001) Malociklusni zamor, Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet.
- [12] MAKSIMOVIC, S., POSAVLJAK S., MAKSIMOVIC, K., NIKOLIC, V., DJURKOVIC V. (2010) *Total Fatigue Life Estimation of Notched Structural Components Using Low Cycle Fatigue Properties*, Journal STRAIN, ([http://onlinelibrary.wiley.com.proxy.kobson.nb.rss:2048/journal/10.1111/\(ISSN\)1475-1305/earlyview](http://onlinelibrary.wiley.com.proxy.kobson.nb.rss:2048/journal/10.1111/(ISSN)1475-1305/earlyview))
- [13] PALMGREN, A. (1924) *Die Lebensdauer von Kugellagern*, Verfahrenstechnik, Berlin, 68, 339-341.
- [14] MINER, M. A. (1945), *Cumulative Damage in Fatigue*, Journal of Applied Mechanics, 76, A159-164.
- [15] FATEMI, A., YANG, L. (1998) *Cumulative Fatigue Damage and Life Prediction Theories: A Survey of the State of the Art for Homogeneous Materials*, International Journal of Fatigue, Vol. 20, No. 1, pp. 9-34
- [16] MORROW, J. (1968) *Fatigue Design Handbook*, Advances in Fatigue, Vol. 4. Society of Automotive Engineers, Warrendale, Pa., Sec 3.2, pp. 21-29.
- [17] POSAVLJAK, S., MAKSIMOVIC, K., JANKOVIC, M. (2010) *Tracking Initial cracks in Turbojet Engine Disks and Possibilities of Postponing their Occurrence*, Scientific Technical Review, Vol. 60, No. 2, pp 27-31, Military Technical Institute, Belgrade, Serbia.
- [18] ATZORY B., MENEGHETTI G., SUSMEL L. (2005) *On the Use of the Modified Manson-Coffin Curves to Predict Fatigue Lifetime in the Low Cycle Fatigue Regime*, Giornata IGF 2005.
- [19] POSAVLJAK, S., JANKOVIC, M., DJURDJEVIC, M. (2011) *Crack Initiation Life of Turbojet Engine Disks Expressed in Equivalent Cycles*, Proceedings of The 7th International Scientific Conference IRMES 2011, pp 253-258, University of Nis, Mechanical Engineering Faculty, Zlatibor, Serbia.
- [20] POSAVLJAK, S., MAKSIMOVIC, S., BOLJANOVIC, (2011) *Fatigue Life Defining of Aircraft Engine Disks*, CD Proceedings of The 4th International Scientific Conference on Defensive Technologies – OTEH 2011, Organized by Military Technical Institute, Belgrade, Serbia.

**Metalurški institut „Kemal Kapetanović“,
Univerzitet u Zenici,
Zenica, BiH
Travnička cesta br.7**

miz@miz.ba

[www miz.ba](http://www.miz.ba)