

## PRIMJENA WRC 1992 DIJAGRAMA PRI ZAVARIVANJU RAZNORODNIH ČELIKA

### APPLICATION OF WRC 1992 DIAGRAMS AT DISSIMILAR STEELS WELDING

Branko MATEŠA, Ivan SAMARDŽIĆ, Marko DUNĐER

*Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu Sveučilišta u Osijeku  
Filozofski fakultet, Studij Politehnike Sveučilišta u Rijeci*

**Ključne riječi:** *WRC 1992 dijagram; zavarivanje raznovrsnih čelika.*

**Key words:** *WRC 1992 diagram ; dissimilar steels welding.*

#### **Sažetak:**

U radu je iznijet problem zavarivanja raznovrsnih materijala austenitnim korozijski postojanim dodatnim materijalom. Predstavljen je problem pojave vrućih pukotina te njenog rješavanja primjenom dvofazne strukture. Naglašeni su problemi strukturnih transformacija  $\delta \rightarrow \gamma$  i otapanja  $\delta$ -ferita u austenitu. Prikazan je slijed razvoja s dijagrama za predviđanje struktura metala zavara korozijski postojanih čelika U namjeri optimizacije sastava metala zavara glede izbjegavanja toplih pukotina ali i povećane krhkosti i pada korozijske postojanosti uporabljen je unaprijeđeni WRC-1992 diagram. Korištenjem navedenog dijagrama preciznije je predviđen iznos delta-ferita u austenitnom metalu zavara s ciljem optimizacije svojstava i pouzdanosti raznovrsnog zavarenog spoja u radu.

#### **Abstract:**

The paper presents dissimilar steel welding problem regarding on austenitic corrosion resistant filler materials using. Appearance of hot fissures problem is as well as its solution by two-phase structures using introduced. The problems are of structural transformations  $\delta \rightarrow \gamma$  and dissolution  $\delta$  -ferrite in austenite pointed out. Diagrams development continuity is for prediction structures of weld metal corrosion resistant steel shown. In intention to weld metal structure optimization regarding on hot fissures avoidance but and increased brittleness and corrosion resistant decline, the advanced constitution WRC-1992 diagram is used. Mentioned diagram using proposed is precisely delta-ferrite amount in austenitic weld metal predicted in intention properties and reliability optimization of dissimilar joint during exploitation.

## 1. UVOD

Zadovoljavajuća zavarljivost raznovrsnih čelika je s obzirom na različitost kako osnovnog tako i dodatnog materijala izrazito zahtjevna zadaća. Uz konstrukcijske zahtjeve posebno treba istaknuti tehnološke kao i metalurške zahtjeve pri izvedbi takvih spojeva postupcima zavarivanja taljenjem [16]. Pri svim aktivnostima trebamo imati na umu potrebu niskog unosa topline - niskog stupnja protaljivanja osnovnih materijala kao i smanjenje difuzije atoma karbidotvornih elemenata te zavarivanje s minimalnim napetostima. No pri zavarivanju- navarivanju austenitnim korozijskim postojanim dodatnim materijalom prisutna je sklonost jednofaznog zavara-navara pojavi vrućih pukotina, krhkosti i padu korozijske postojanosti. U cilju izbjegavanja pojave vrućih pukotina preporuča se uporaba dvofazne F/A strukture . Količina delta ferita u austenitnoj matici je ograničena zahtjevom prvenstveno za zavarom visoke duktilnosti i korozijske postojanosti. Pri

višim sadržajima delta ferita dolazi do većeg izlučivanja karbida i intermetalnih faza a što je u konačnici u suprotnosti za visokim zahtjevima glede kakvoće raznovrsnog spoja u radu. Uporabom poboljšanog WRC1992 strukturnog dijagrama s područjem gornje granice pojave martenzita

pri predviđanju strukture moguće je ispravnim izborom dodatnog materijala, postupka spajanja te stupnja unosa topline smanjiti sklonost zavara otvrdnjavanju, krhkosti i pukotinama [11-12]. Naravno i dalje su prisutni izazovi ponašanja raznovrsnih spojeva u radu kao što su napetosna korozija i zamor.

## 2. VRUĆE PUKOTINE

Korozivski postojani čelici austenitne strukture tijekom zavarivanja skloni su nastanku vrućih pukotina. Kristalizacijske pukotine zone taljenja nastaju tijekom skrućivanja kada je između dendritnih kristala prisutna i rastaljena faza. Glavni razlog pojave kristalizacijskih pukotina je prisutnost filma nisko-taljivih faza na granicama kristala tijekom primarne kristalizacije. Pri stezanju kod hlađenja zavara javljaju se mikro-pukotine na granici kristala a koje se tijekom daljnjeg hlađenja šire u makro-pukotine. Naravno, širenje pukotine ovisi o stanju naprezanja i svojstvima materijala uz vrh početne pukotine. Sama krutost zavarenog spoja uzrokuje vlačna reakcijska naprezanja koja pri stezanju premašuju lomnu čvrstoću materijala pri visokim temperaturama. Ako se tome doda činjenica da istovremeno dolazi do znatnog pada istezljivosti materijala, posebno u područjima krhkosti, neizbježna je pojava pukotina. Dakle niska toplinska vodljivost i istezljivost austenitnih korozivski postojanih čelika te sklonost stvaranju nisko-taljivih spojeva sumpora s niklom također mogu rezultirati nastajanjem vrućih pukotina u metalu zavara. Sumpor i fosfor, budući da su nižeg stupnja rastvorljivosti u austenitnoj strukturi pri visokim temperaturama, s niklom stvaraju nisko-taljive spojeve eutektika, nikl sulfid  $Ni_3 S_2$ . Ove segregacije tijekom snažnog stezanja u posljednjem stadiju skrućivanja izazivaju pojavu međukristalnih odvajanja- vrućih pukotina ( slika 1).



*Slika1. Nastanak vrućih pukotina pri skrućivanju metala zavara i utjecajni čimbenici [2]*

Dakle treba izbjegavati prisutnost sumpora čišćenjem površine prije zavarivanja ili toplinske obradbe[13]. No, budući da je potpuno austenitna struktura sklonija pojavi vrućih pukotina, štetan utjecaj jednofazne strukture se može smanjiti ako se stvore uvjeti koji doprinose izlučivanju druge faze po granicama kristala austenita- delta ferita.

Pri skrućivanju jednofaznog prvenstveno primarno skrutnutog austenitnog zavara bez eutektičkog ferita, granice kristala su ravne ili glatke i lakše u kontaktu s nisko-topljivim segregacijama tekuće faze koja sadrži P i S. Mala naprezanja su potrebna da izazovu vruće pukotine zavara.

Razlozi, zbog kojih je prisutnost delta ferita odnosno dvofazna struktura – austenit/ferit, povoljna glede otpornosti vrućim pukotinama, su [2] :

1. Granice kristala su učvršćene i ostaju nepravilne, rezultirajući složenijim putem širenja pukotine nego kod jednofaznog austenitnog skrućivanja.

2. Snižena energija ploha-granica ferit/ austenit sprječava mogućnost dodira s nečistoćama tekuće faze i tako one djeluju kao čvrste veze unutar austenitnih kristala te pri tom sprječavaju međukristalno razdvajanje.

3. Povećana topljivost nečistoća u feritu za vrijeme posljednjeg stupnja skrućivanja smanjuje količinu nisko topive faze i povećava stupanj otpornosti pukotinama.

### 3. DELTA-FERIT

Delta-ferit ima prostorno centriranu kubnu rešetku sa svim svojstvima  $\alpha$ - ferita ( dimenzije rešetke, magnetičnost). Delta-ferit je modifikacija koja se kod nisko-ugljičnih konstrukcijskih čelika pojavljuje kao stabilna samo pri temperaturi iznad 1390 °C, jer se pri hlađenju pretvara u austenit ( $\gamma$ -fazu) a nakon toga u  $\alpha$ - željezo i spojeve s ugljikom[19]. Kod austenitnih korozijski postojanih čelika pri određenim sadržajima kroma i nikla , delta-ferit se pojavljuje pri različitim koncentracijama i pri sobnoj temperaturi. Feritni dendriti su vrlo fini te zbog brzog skrućivanja oštro kemijski odijeljeni i u stanju neravnoteže. Iz tog razloga toplinska obradba na temperaturi koja omogućuje difuziju legirajućih elemenata može znatno utjecati na veličinu, oblik i količinu ferita. Gašenjem čelika sa 1050 °C, sadržaj ferita u austenitnom metalu zavara se može smanjiti za oko 5%. Budući da je ferit u austenitnom metalu zavara neravnotežna faza, bilo kakav nedostatak dobre korelacije između sastava i sadržaja ferita može imati brojne posljedice. Ponajprije, način skrućivanja i kasnijih pretvorbi u krutom stanju utječu na morfologiju ferita a što može doprinijeti promjenama izmjenjenog sadržaja ferita u zavaru. Nadalje, toplinski ciklusi kojima su izloženi početni slojevi zavara tijekom višeslojnog zavarivanja, također mogu pridonijeti navedenim promjenama[17].

#### Morfologija $\delta$ -ferita

Promatrajući različite lokacije višeslojnog zavara zavarenog TIG-postupkom s dodatnim materijalom tipa AWS ER 308L, s konstantnim odnosom  $C_{req}/N_{req} = 1,66$  ( Slika 2), uočena su 4 tipa feritnih morfologija. To su: tip I- crvolik oblik; tip II- čipkast oblik; tip III- igličast oblik i tip IV- okrugao-globularan oblik ferita [3].

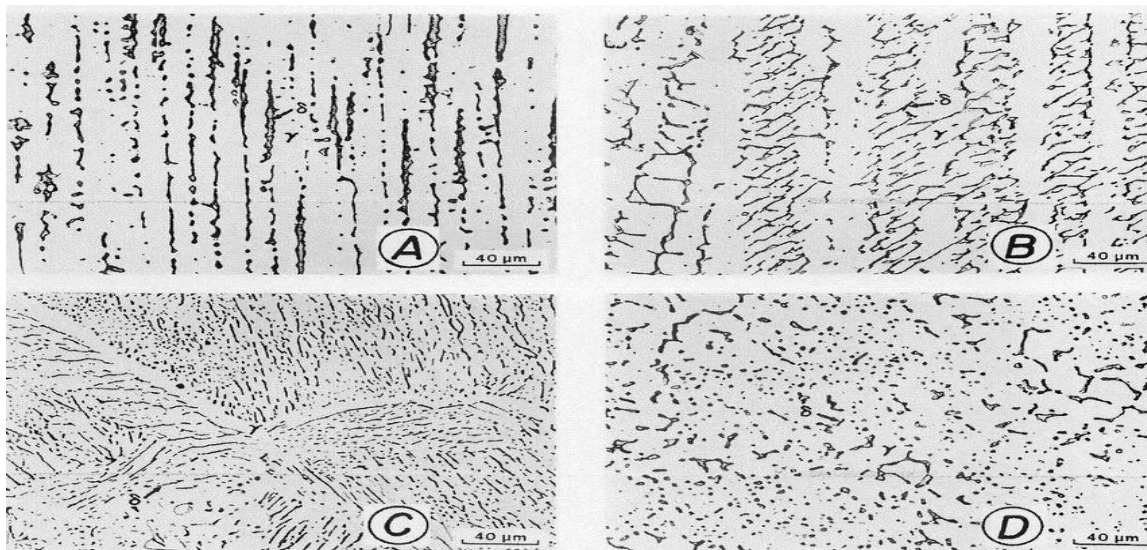
Crvolika, vijugava morfologija tipa I ( detalj A na slici 2) je obično zastupljena kod austenitnih zavara koji sadrže duplex-strukturu sa 5-15FN i to pretežno u početnim slojevima zavara.

Čipkasti oblik ferita tipa II ( detalj B na slici 2) je smješten unutar celularnih dendrita, s količinom 13-15FN u metalu zavara. Ovaj oblik obilježavaju dugi isprepleteni stupci feritne mreže koji su usmjereni uzduž smjera rasta u austenitnoj strukturi a dominira u srednjim slojevima zavara.

Tip III ( detalj C na slici 2) prikazuje igličast oblik ferita koji je karakteriziran slučajnim iglastim uređenjem unutar austenitne strukture. Zastupljen je kod završnih i pokrovnih slojeva austenitnog zavara s prosječnim sadržajem ferita 13FN.

Okrugao (globularni) oblik ferita u strukturi austenita (detalj D na slici 2) je karakteriziran slučajno raspoređenim globularnim oblikom s neusmjerenom strukturom. Obično se nalazi u slojevima početka i sredine zavara odnosno kod slojeva koji su bili izloženi toplinskom cikliranju za vrijeme zavarivanja s prosječnim sadržajem 10 FN.

Čini se da struktura ( Tip IV) ima svoje podrijetlo u toplinskoj nestabilnosti bilo kojeg od ostalih tipova posebno igličastog oblika. Toplinski ciklusi kojima su neki od slojeva zavara bili izloženi tijekom višeslojnog zavarivanja su doprinijeli nestabilnosti prethodno izloženih oblika. Kao rezultat nestabilnosti oblika iglaste i čipkaste strukture lome se u sitne nepovezane globule[17].

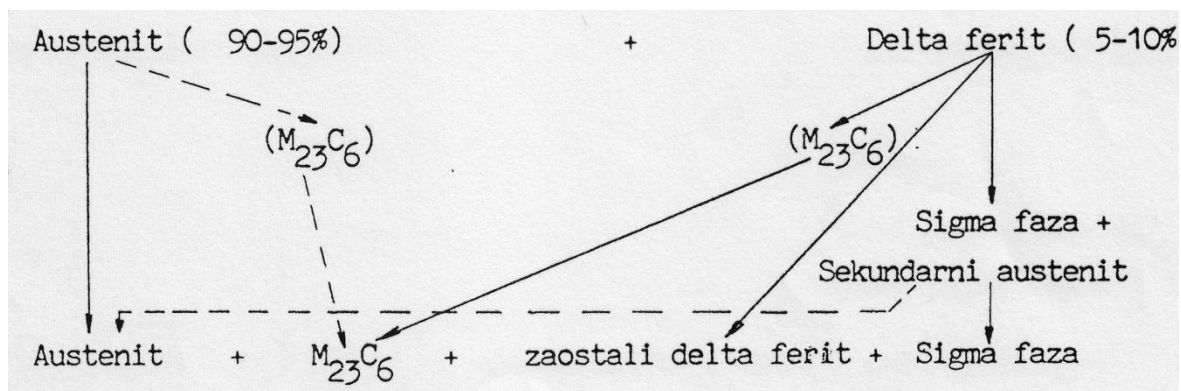


*Slika 2. Oblici  $\delta$ -ferita u zavaru, s odnosom  $C_{req}/Ni_{eq} = 1,66$ ; Nagrizano:  $KOH, K_3Fe(CN)_6$  [3]*

Literatura često karakterizira feritnu morfologiju kao kontinuiranu ili ne-kontinuiranu, ovisno o mjestu u zavaru koji promatramo. Ovdje treba biti vrlo oprezan budući da samo crvolika i čipkasta morfologija se približavaju kontinuiranim oblicima [7]. Za razliku od prethodna dva oblika ferita, strukture posljednjih dva oblika ( iglast i globularan ) nisu kontinuirane niti usmjerene.

### Raspad ferita-taloženje karbida i intermetalnih faza

Da bi spriječili nastajanje toplih pukotina, a istovremeno zadržali odgovarajuću razinu duktilnosti zavara, sadržaj ferita u austenitnom metalu zavara se ograničava na 5-10 %. Time je spriječen znatniji pad udarne radnje loma i istežljivosti zbog izlučenih karbida, inter-metalnih faza kao i pad korozijske postojanosti zavara. U slučaju kada zavarena konstrukcija pri radu prijelazi temperaturu  $500^{\circ}C$ , treba sadržaj ferita ograničiti na najviše 5%, jer se iz delta ferita izlučuje krhka  $\sigma$ - faza, a također i krhki karbid [13,17] Izlučivanje  $\sigma$ - faze u delta-feritu počinje puno ranije nego u austenitnoj matici. Precipitacija sigma faze u austenitnom 20/10 Cr-Ni metalu zavara koji sadrži delta ferit u temperaturnom području između  $700-800^{\circ}C$ , može biti opisana shemom na Slici 3:



*Slika 3. Precipitacija  $\sigma$ -faze u 20/10 Cr-Ni metalu zavara s  $\delta$ -feritom kod  $700-800^{\circ}C$  [6].*

#### 4. RAZVOJ I NAMJENA STRUKTURNIH DIJAGRAMA- PREDNOSTI I NEDOSTACI

Konstruktivna i tehnološka čvrstoća i pouzdanost proizvoda iz raznovrsnih čelika može se osigurati samo ako u području zavarenog spoja nema krhkih međuslojeva.

S obzirom na to, neophodno je kod izbora dodatnog materijala i određivanja stupnja protaljivanja osnovnog materijala ispravno procijeniti strukturu i svojstva pojedinih zona spoja. Tako su kod zavarivanja niskolegiranih zakaljivih čelika s austenitnim korozijski postojanim čelicima bitni čimbenici[16]:

1) pravilan izbor dodatnog materijala u cilju sprječavanja pojave toplih pukotina u austenitnom materijalu,

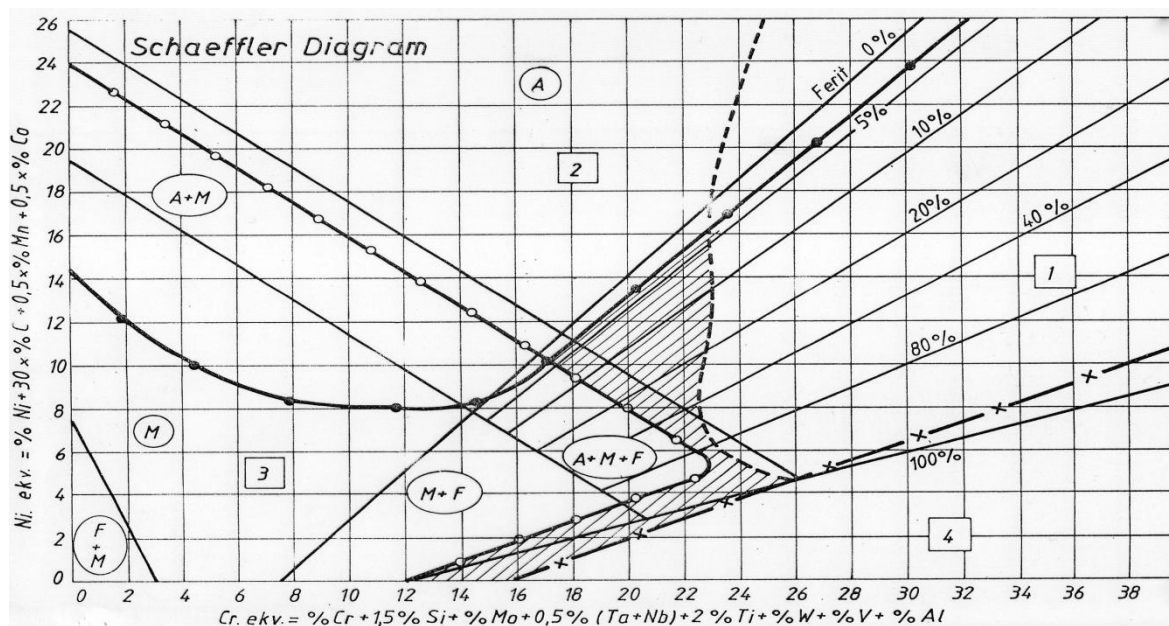
2) upravljanje procesima difuzije ( migracije ) elemenata iz niskolegiranog čelika, pretežito ugljika u zonu staljivanja u cilju sprječavanja pojave krhkih međustruktura.

Prvi čimbenik određuje kakvoću dodatnog materijala a drugi ograničava područje primjene zavarenog spoja raznorodnih čelika.

Sastav metala zavara je izražen kao odnos ekvivalenata kroma i nikla (  $C_{req}/N_{req}$ ), a to je i jedan od važnijih faktora za određivanje sadržaja ferita u zavaru. Schaefflerov dijagram (Slika 4). dopunjen od strane De Longa i ostalih s ciljem uvođenja austenitizirajućeg utjecaja dušika je dobra metoda za predviđanje sadržaja ferita u zavaru

Za praksu je od posebne važnosti predvidjeti strukturu koja bi nastala u spoju nakon zavarivanja raznovrsnih čelika[20]. Da bi predvidio metaluršku mikrostrukturu čiji nastanak se očekuje, Schaeffler (1949) je razvio strukturni dijagram koji je kasnije dopunio DeLong (Slika 5) [4-5]. Schaeffler je (Cr)ekvivalentom izrazio utjecaj elemenata koji pospješuju stvaranje ferita ( $\alpha$ -geni elementi), a (Ni) ekvivalentom utjecaj elemenata koji podupiru stvaranje austenita ( $\gamma$ -geni elementi) [21].

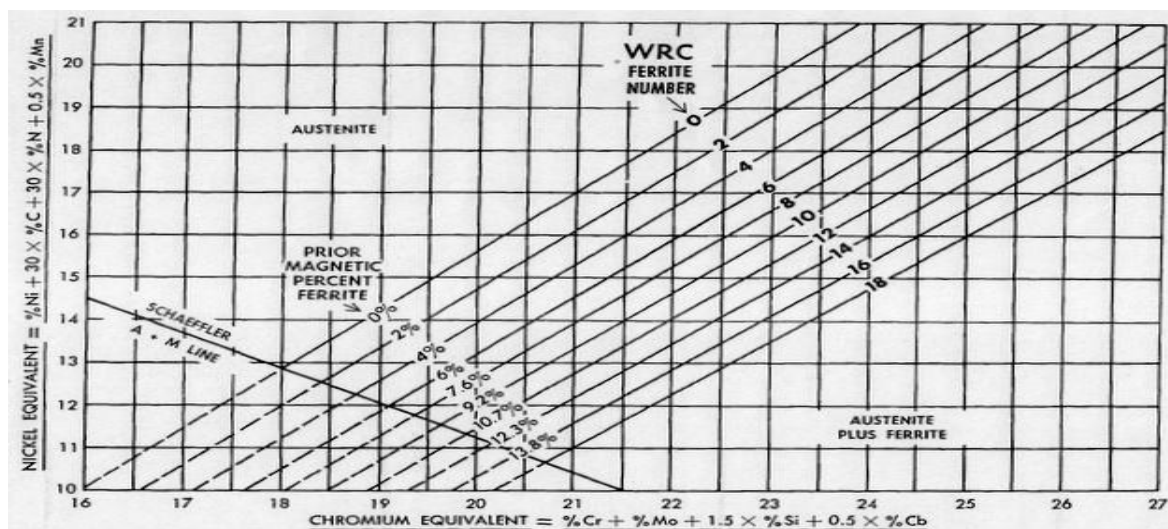
Općenito, pri izboru dodatnog materijala kod zavarivanja raznovrsnih čelika treba voditi računa kako bi se osigurala tražena struktura zavarenog spoja zadovoljavajućih mehaničkih svojstava, otpornost prema selektivnoj i napetosnoj koroziji, niska osjetljivost na krhkost te otpornost na toplinski zamor[16].



**Slika 4.** Schaeffler-ov dijagram dopunjen DeLongom i M.C.T. Bystramom s prikazom područja strukturne osjetljivosti te šrafiranim područjem prihvatljive zavarljivosti [4,5,21]

Veći broj istraživača je u cilju povećanja točnosti primjene Schaefflerovog dijagrama nastojao utvrditi utjecaj alfa-genih i gama-genih elemenata kroz izračun  $C_{req}$  i  $Ni_{eq}$  ( Tablica 1 ). Siewert/McCowan/Olsen objavljuju WRC-1988 dijagram koji predstavlja unaprjeđenje Schaefflerovog dijagrama. WRC dijagram preciznije određuje sadržaj alfa-faze ( tzv.feritni broj FN ).

Da bi se povećao opseg i točnost predviđanja feritnog broja(FN) kod korozijski postojanog zavara kao i odgovarajućih raznovrsnih spojeva metala, Kotecki i Siewert su predložili WRC-1992 dijagram [10].



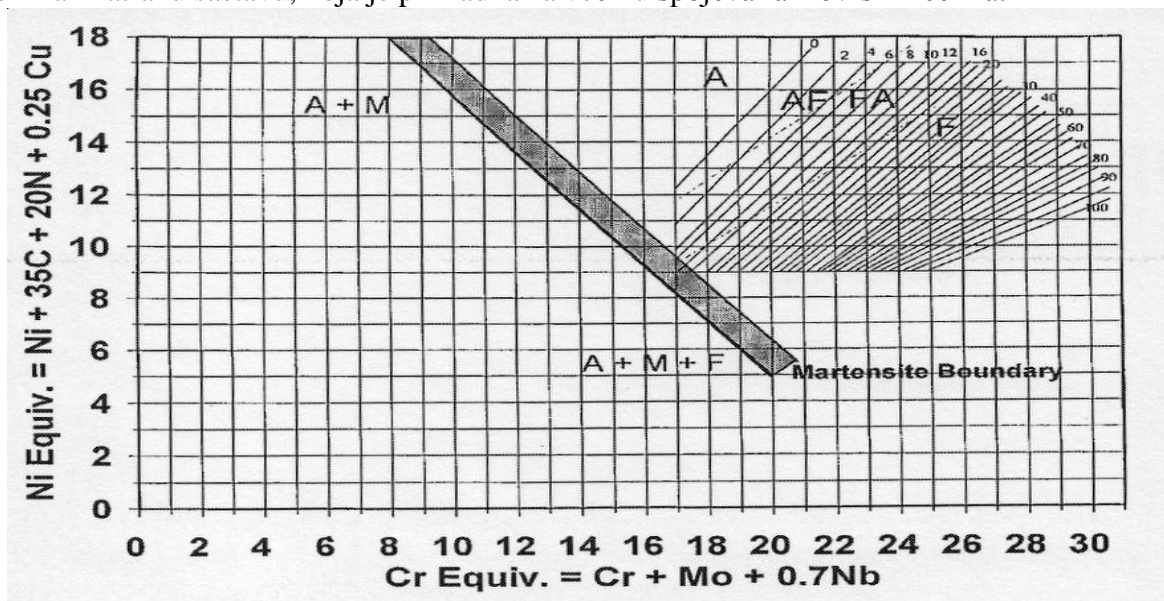
Slika 5. De Longov dijagram preciznije određuje udio ferita uvođenjem WRC FN [5].

Tablica 1. Pregled mogućih izračuna za  $Cr_{eq}$  i  $Ni_{eq}$

Autor	God.	Cr eq., %	Ni eq., %
Schaeffler [21]	1949.	$Cr + Mo + 1.5Si + 0.5Nb$	$Ni + 0.5Mn + 30C$
DeLong et al.[.4]	1956.	$Cr + Mo + 1.5Si + 0.5 Nb$	$Ni + 0.5Mn + 30C + 30N$
Hull[9]	1973.	$Cr + 1.21Mo + 0.48Si + 0.14Nb + 2.27V + 0.72W + 2.20Ti + 0.21Ta + 2.48Al$	$Ni + (0.11Mn - 0.0086Mn^2) + 24.5 C + 14.2N + 0.41Co + 0.44Cu$
Hammar and Svenson[8]	1979.	$Cr + 1.37Mo + 1.5Si + 2Nb + 3Ti$	$Ni + 0.31Mn + 22C + 14.2N + Cu$
Siewert and Kotecki [10] (WRC-1992)	1992.	$Cr + Mo + 0.7Nb$	$Ni + 35C + 20N + 0.25Cu$
Balmforth and Lippold[1]	2000.	$Cr+2Mo+10(Al+Ti)$	$Ni+35C+20N$

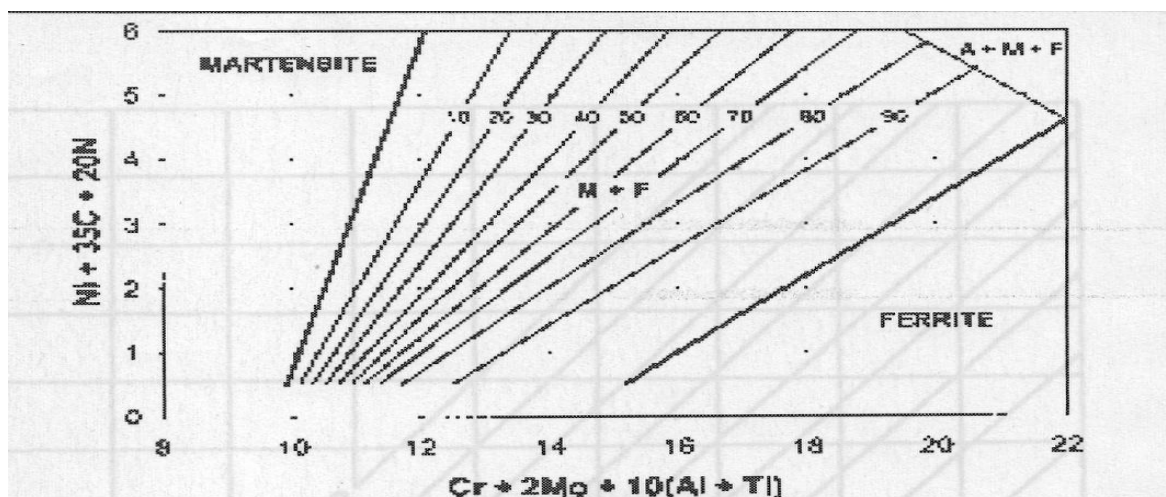
Uključivanjem koeficijenta za bakar (Cu) u Ni-ekivalent, uklanja se sklonost WRC-1988 dijagrama ka precjenjivanju FN metala zavara pri visokom sadržaju Cu. Također koordinate WRC-1992 dijagrama mogu biti produžene ( kao u Schaefflerovom dijagramu) s ciljem predviđanja utjecaja miješanja- razrjeđenja kod spojeva raznovrsnih metala. Kako je izvorno WRC dijagram namijenjen za područje povećanog Cr-ekv i Ni--ekv.potrebno ga je ugraditi u postojeći Schaefflerov strukturni dijagram kako bi bilo moguće provoditi analizu uporabom WRC 1992 dijagrama [10].

Mnogi sastavi metala navara nižeg Cr- i Ni- ekvivalenta nego oni uzduž Schaeffler-ove prenesene granice martenzita ne pokazuju martenzit u navaru te zadovoljavaju ASME 2T test savijanja s licem navara u vlačnoj zoni. Na osnovi magnetnih mjerenja i testova savijanja na oko 100 sastava metala zavara dobivenih pri jednoslojnom REL navarivanju na ASTM A36 čelik, nova granica martenzita je predložena kao dodatak WRC-1992 diagramu (Slika 6). Ova granica razdvaja sastave koji ne pokazuju magnetni odgovor pripisiv martenzitu a prolaze 2T test savijanja s licem navara u vlačnoj zoni od onih sastava koji imaju magnetni odgovor koji ukazuje na prisutnost martenzita u nanešenom depozitu i pad testa savijanja. Budući da mangan (Mn) nije dio kako Cr- tako ni Ni- ekvivalenta na WRC-1992 diagramu, gornja linija martenzita je specifična za razinu oko 1%Mn u testom razmatranu sastavu, koja je prikladna za većinu spojeva raznovrsnih čelika.



Slika 6. WRC-1992 diagram s područjem granice stvaranja martenzita za razinu oko 1%Mn[11-12]

Također je razvijen novi strukturni diagram koji preciznije predviđa mikrostrukture metala zavara feritnih i martenzitnih korozijski postojanih čelika. Temeljen na elektrolyčno izvedenim zavarima uporabom komercijalnih martenzitnih i feritnih korozijski postojanih čelika ovaj dijagram pokazuje iznimnu preciznost u predviđanju mikrostrukture metala zavara uz granice faza uključujući granicu stvaranja austenita unutar istraživanih sastava ( Slika 7).



Slika 7. Novi martenzitno-feritnih korozijski postojanih čelika strukturni dijagram [1]

## 5. UPORABA UNAPRIJEĐENOG WRC 1992 STRUKTURNOG DIJAGRAMA

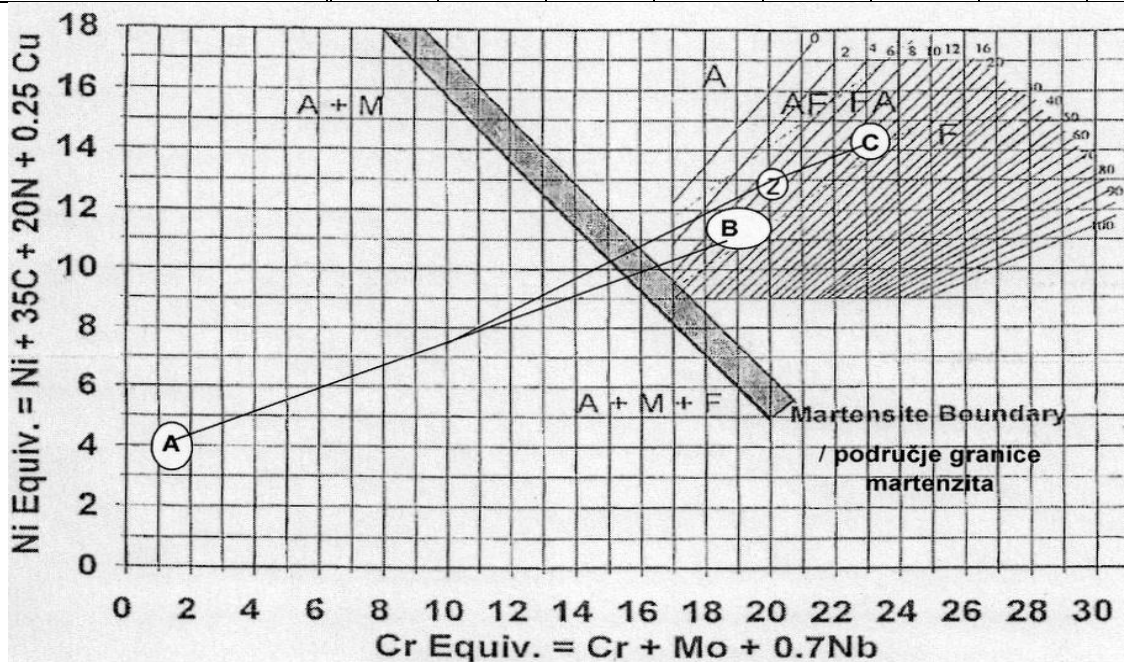
Prikazana su dva primjera korisnosti uporabe unaprijeđenog WRC1992 dijagrama (Slika 6):

1. Procjena strukture zavara raznovrsnih čelika (Tablica 2) izvedenog REL-postupkom materijalom tipa AWS E 309L (  $C_{req}/N_{req} = 1,668$  ) sa stupnjem protaljivanja oko 30 % (Slika 8). Procijenjena je FA-struktura jednoslojnog zavara s  $C_{req}/N_{req} = 1,538$  te oko 6% ferita. Praktički izvedeni zavar je dvofazni, bez vrućih pukotina i krhkih zona (Slika 9) [14-15].

2. Procjena strukture dvoslojnog navarivanja niskolegiranog čelika EPP- postupkom trakastim elektrodama korozijski postojanih čelika s  $C_{req}/N_{req} = 1,77-1,69$  (Tablica 3) sa stupnjem protaljivanja 10-20% (Slike 10). Procijenjena je FA-struktura dvoslojnog navara s  $C_{req}/N_{req} = 1,60- 1,86$  te oko 6-10% ferita, a što je i u praksi metalografski potvrđeno. ( Slika 11).

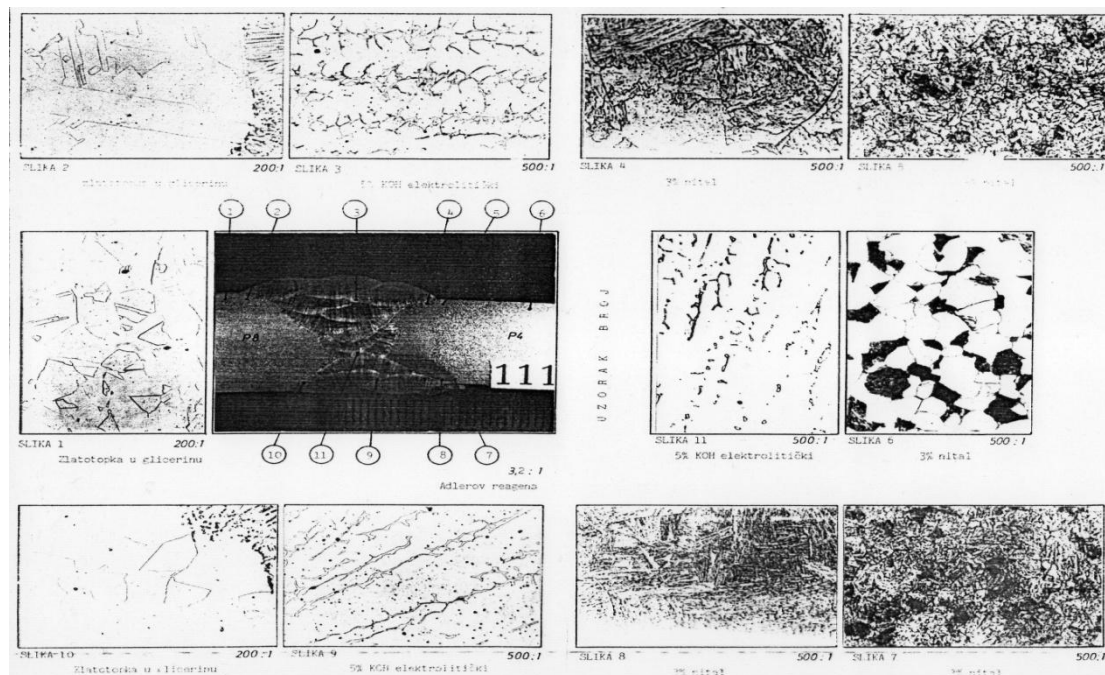
**Tablica 2.** *Kemijski sastav elemenata osnovnih i dodatnih materijala raznovrsnog spoja[14-15].*

Osnovni i dodatni mat.	Kemijski sadržaj elemenata, %							
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni
A ASTM A 387 Gr.12	0.13	0.28	0.78	0.008	0.010	1.07	0.52	-
B ASTM A 240 TP 304L	0.026	0.48	1.33	0.030	0.030	18.7	-	10.8
C AWS E 309 L	0,019	0,85	0,83	0,011	0,022	23,3	-	13,3



**Slika 8.** *Prikaz procjene strukture zavara Z raznovrsnih čelika uporabom WRC 1992 dijagrama*

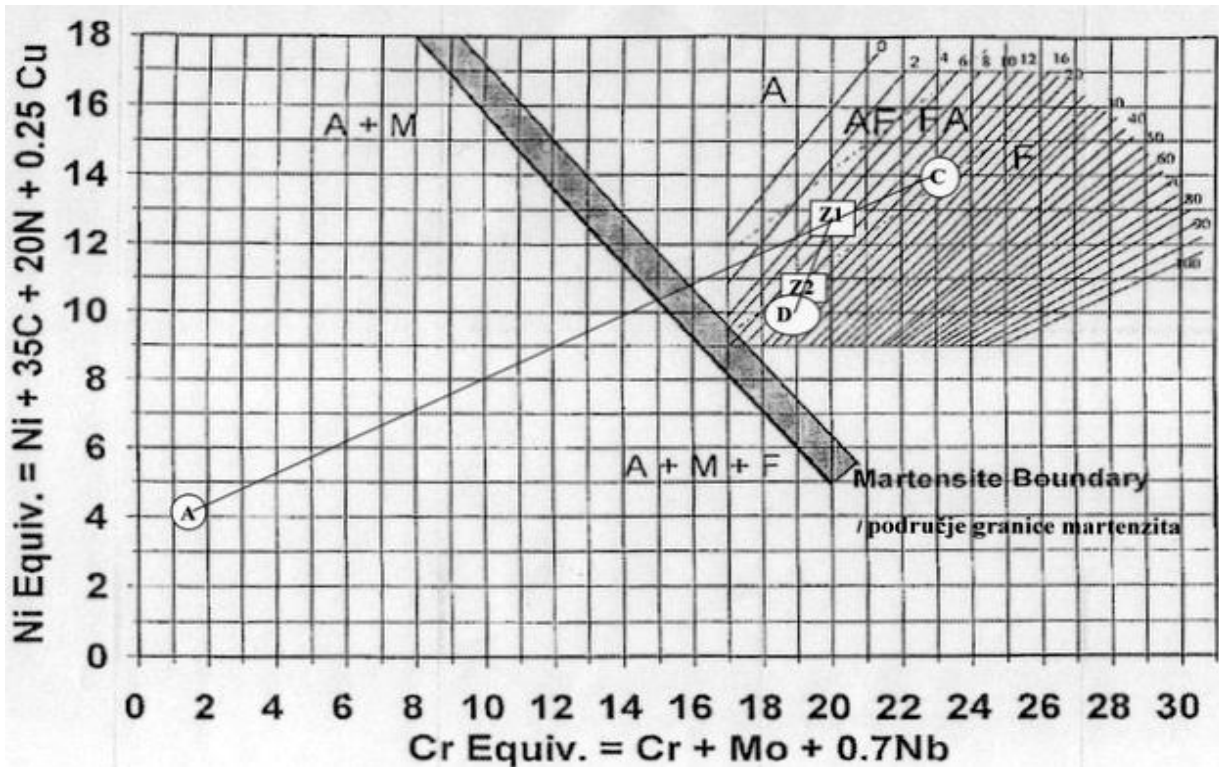




**Slika 9.** Prikaz struktura i zone pougļičenja/razugļičenja kod spoja niskolegiranog F/P čelika s austenitnim korozijski postojanim čelikom zavarenog REL postupkom austenitnom elektrodom AWS E 309L prethodno procijenjene WRC 1992 dijagramom na slici 8 [14-15].

**Tablica 3** Kemijski sastav osnovnog materijala i dodatnih materijala za EPP- navarivanje [18]

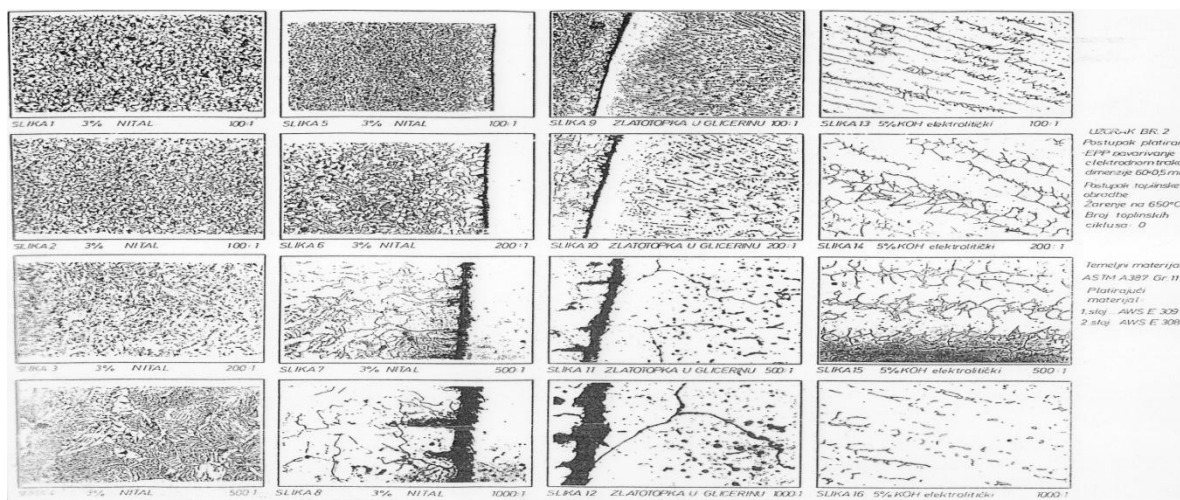
Dodatni materijali za EPP navarivanje s osnovnim materijalom		SADRŽAJ KEMIJSKIH ELEMENATA, %								
		C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	S	P	Fe
<b>C</b> Traka 60x0.5 UTP 6824 LC Prašak UP flux 6824	AWS E 309L	0.013	0.29	1.68	13.05	23.02	-	0.003	0.013	ostatak
<b>D</b> Traka 60x0.5 UTP 6820 LC Prašak UP flux 6820	AWS E 308L	0.021	0.94	1.00	10.4	19,3	-	0.006	0.017	ostatak.
<b>A</b> Osnovni niskolegirani čelik	ASTM A 387 Gr.12	0.13	0.28	0.78	-	1.07	0.5 2	0,010	0.008 -	ostatak.



Slika 10. Prikaz procjene-predviđanja struktura dvoslojnog navara Z1-Z2 (raznovrsnih čelika) uporabom WRC 1992 dijagrama a što je metalografski prikazano na slici 11.

## 6. ZAKLJUČAK

Uporabom unaprijeđenog WRC1992 strukturnog dijagrama s ugrađenim područjem gornje granice pojave martenzita za čelik s oko 1% Mn moguće je preciznije prethodno (predvidjeti-procijeniti) odrediti iznos delta ferita u dvofaznoj A/F strukturi metala zavara s ciljem izbjegavanja vrućih pukotina ali i povećane krhkosti i pada korozijske postojanosti. Uporabljivost korištenog dijagrama je potvrđena provedenim zavarivanjem/navarivanjem, mehaničkim i metalografskim ispitivanjima a gdje su magnetna mjerenja %  $\delta$ -ferita u zavaru iznosila 5-12%. Naravno, potrebno je također imati na umu i ostale posebnosti pri zavarivanju raznovrsnih čelika u cilju postizanja zahtijevane razine pouzdanosti u radu naročito na povišenim temperaturama.



Slika 11. Metalografski prikaz struktura kod dvoslojnog EPP navarivanja FA trakastim elektrodama

## 7. LITERATURA

- [1] Balmforth, M. C., Lippold, J. C. „ A New Ferritic-Martensitic Stainless Steel Constitution Diagram“, Welding Journal, December 2000, pp 339-345.
- [2] Brooks, J.A., Thompson, A.W., Williams, J.C., „ Fundamental Study of the Beneficial Effects of Delta Ferrite in Reducing Weld Cracking“, Welding Journal, March 1983., pp.71-83.
- [3] David, B. S., „ Ferrite Morphology and Variation in Ferrite Content in Austenitic Stainless Steel Welds“, Welding Journal, 4, 1981, 63-71.
- [4] DeLong, W.T., G. A. Osrarn, G.A., Szumachowski, E.R., „Measurement and Calculation of Ferrite in Stainless Steel Weld Metal“, Welding Journal, Vol 35, Nov. 1956, pp. 521s-528s.
- [5] DeLong, W.T., Ferrite in Austenitic Stainless Steel Weld Metal, Welding Research Supplement to Welding Journal, July 1974, pp.273-286.
- [6] Folkhard, E., Pertender, E., Schabereiter, H., Toesch, J., „Metallurgie der Schweissung nichtrostender Staehle“, Springer Verlag, Wien 1984
- [7] Goodwin, G. M., Cole, N.C., Slaughter, G. M., „ A Study of Ferrite Morphology in austenitic stainless steel weldments, Welding Journal, sept. 1972., 425-429.
- [8] Hammar, O., Svensson, U., „Influence of Steel Composition on Segregation and Microstructure during Solidification of Austenitic Stainless Steels“, Solidification and Casting of Metals, The Metals Society, London, pp. 401-410, 1979.
- [9] Hull, F.C., „Effect of Delta Ferrite on the Hot Cracking of Stainless Steel“, Welding Journal, 46, Sept. 1967., pp. 399s-409s,
- [10] Kotecki, D. J., Siewert, T. A. „WRC-1992 Constitution Diagram for Stainless Steel Weld Metals: A Modification of the WRC-1988 Diagram“, Welding Research Supplement, , May 1992., pp. 171s-177s.
- [11] Kotecki, D. J. „ A Martenzite Boundary on the WRC-1992 Diagram“, Welding Journal, May 1999. pp.180-192.
- [12] Kotecki, D. J. „A Martenzite Boundary on the WRC-1992 Diagram Part 2- The Effect of Manganese“, Welding Journal, December 2000., pp. 346- 354.
- [13] Lukačević, Z. „Zavarivanje“, SF, Slavonski Brod, 1998.
- [14] Mateša, B., „Istraživanje utjecaja parametara žarenja na strukturalna svojstva ručno elektrolučno zavarenog spoja raznorodnih čelika I dio“, Zavarivanje, 34, 1991, svibanj-kolovoz 3/4, str.67-75,
- [15] Mateša, B., „Istraživanje utjecaja parametara žarenja na strukturalna svojstva ručno elektrolučno zavarenog spoja raznorodnih čelika II dio“, Zavarivanje, 35, broj 1, veljača 1992., str.5-13.
- [16] Mateša, B ; Samardžić, I.; Dunder, M.; „Zavarljivost raznovrsnih čelika i primjena Schaefflerovog dijagrama“, Zbornik radova 6. Međunar. znanstveno-stručnog savjetovanja, Sl. Brod, 2011., s. 233-243.
- [17] Mateša, B ; Samardžić, I.; Dunder, M.; „The influence of the heat treatment on delta ferrite transformation in austenitic stainless steel welds“, Metalurgija 51 (2012)2, 229-232.
- [18] Mateša, B ; Samardžić, I.; Dunder, M.; „Effect of Cladding Procedures on Mechanical Properties of Heat Treated Dissimilar Joint“, Metalurgija 51 (2012)4, 441-444.
- [19] Novosel, M., Krumes, D., „Posebni čelici“, SF, Slavonski Brod, 1998.
- [20] Olson, D. L., „Prediction of Austenitic Weld Metal Microstructure“, Welding Journal, 10, 1985., 282.
- [21] Schaeffler, A. L., "Constitution Diagram of Stainless Steel Weld Metal", Metal Progress, 56, November 1949, pp. 680- 680B.