



# ZAVARIVANJE I ZAVARENE KONSTRUKCIJE

---

## WELDING & WELDED STRUCTURES

God. 61 Vol. 61	Br. 3 No. 3	97-144 97-144	Beograd Belgrade	Srbija Serbia	2016. 2016.
--------------------	----------------	------------------	---------------------	------------------	----------------

ČASOPIS DRUŠTVA ZA UNAPREĐIVANJE  
ZAVARIVANJA U SRBIJI

SERBIAN WELDING SOCIETY  
QUARTERLY REVIEW

IZLAZI TROMESEČNO

### IZDAVAČ / PUBLISHER

**DUZS - Društvo za unapređivanje  
zavarivanja u Srbiji**

Adresa: 11000 Beograd, Grčića Milenka 67

**Za izdavača / For Publisher**

Branislav Lukić, dipl.ing, predsednik DUZS

### UREDNIŠTVO / EDITORIAL

**Glavni i odgovorni urednik / Editor-in-Chief**

Milica Antić, dipl.ing. EWE

duzs@eunet.rs, milicamantic@yahoo.com

**Tehnički urednik / Technical Editor**

Branislav Lukić, dipl.ing

**Redakcijski odbor / Editorial Board**

Dr Nenad Radović, dipl.ing.

Dr Bore Jegdić, dipl.ing.

Miloš Pavlović, dipl.ing.

### UREĐIVAČKI ODBOR / PUBLISHING COUNCIL

Dr Vencislav Grabulov, dipl.ing, (predsednik)

Prof. dr Miroslav Đurđanović, dipl.ing.

Prof.dr Vukić Lazić, dipl.ing.

Doc.dr Ismar Hajro, dipl.ing. (BiH)

Prof.dr Darko Bajić, dipl.ing. (Crna Gora)

Prof. dr Aleksa Blagojević, dipl.ing. (BiH, Republika Srpska)

Prof. dr Sveto Cvetkovski, dipl.ing. (Makedonija)

Doc. dr Tomaž Vuherer, dipl.ing. (Slovenija)

Prof. dr Ivan Samardžić, dipl.ing. (Hrvatska)

Horia Dascau, dipl.ing. (Rumunija)

### REDAKCIJA I MARKETING / EDITORIAL OFFICE AND MARKETING



Vesna Jović  
Grčića Milenka 67, I sprat  
11000 Beograd



Tel / Fax + 381 (11) 2850-794  
(10-16h)



[duzs@eunet.rs](mailto:duzs@eunet.rs)  
[www.duzs.org.rs](http://www.duzs.org.rs)

CIP - Каталогизација у публикацији  
Народна библиотека Србије, Београд  
621.791

ZAVARIVANJE i zavarene konstrukcije :  
časopis Društva za unapređivanje zavarivanja  
u Srbiji = Welding & Welded Structures :  
Serbian Welding Society quarterly review /  
glavni i odgovorni urednik = editor-in-chief Milica Antić. –  
Vol. 41, no. 1 (1996)- . - Beograd :  
Društvo za unapređivanje zavarivanja u Srbiji,  
1996-. (Beograd : VIS studio).-29 cm  
Tromesečno.

ISSN 0354-7965 = Zavarivanje i zavarene konstrukcije  
COBISS.SR-ID 105396743

### CENE I NARUDŽBINA ZA 2015.

Cena pojedinačnog broja 825,00 dinara

Godišnja pretplata 2500,00 dinara

Tekući račun: 355-1025530-87

### PRICE AND ORDER

Annual subscription: EUR 100

Account No. 000200073783

VBUBRS22 (Vojvođanska banka Novi Sad, Srbija)  
IBAN CODE RS35 3550 0000 0200 0737 83

### ŠTAMPA / PRINTED

"VIS STUDIO" d.o.o.  
Aleksinačkih rudara 35, Beograd  
Tiraž: 400 kom.

## SADRŽAJ:

## CONTENTS:



## NAUKA • ISTRAŽIVANJE • RAZVOJ

## SCIENCE • RESEARCH • DEVELOPMENT

101

WELDING OF TUBE / PIPE SYSTEMS IN BOILER  
PRODUCTIONZAVARIVANJE CEVNIH SISTEMA U  
KOTLOGRADNJI

Božo Despotović, Ivan Samardžić, Tihomir Marsenić

113

METODE ZA IZRAČUNAVANJE TEMPERATURA  
PREDGREVANJA  
PRI ZAVARIVANJU ČELIKA POVIŠENE I VISOKE  
ČVRSTOĆEMETHODS FOR CALCULATING THE PREHEAT  
TEMPERATURE  
WELDING THE HIGH STRENGTH STEELS

Radomir Jovičić, Radica Prokić Cvetković, Olivera Popović, Nenad Milošević



## OBRAZOVANJE

## EDUCATION

123

*NERĐAJUĆI I VATROOTPORNI ČELICI  
-VRSTE, KARAKTERISTIKE, ZAVARIVANJE- (II DEO)*

## VESTI

## NEWS

100

SAVETOVANJE SA MEĐUNARODNIM UČEŠĆEM „ZAVARIVANJE 2016“

122

GODIŠNJA SKUPŠTINA MEĐUNARODNOG INSTITUTA ZA ZAVARIVANJE

139

SAVETOVANJE SA MEĐUNARODNIM UČEŠĆEM „ZAVARIVANJE 2016“ - nastavak

140

MEĐUNARODNO TAKMIČENJE ZAVARIVAČA „ARC CUP“ 2016 – PEKING

144

MARKETING

## **Poštovani čitaoci,**

***Kada smo se rastali u prošlom broju, naši mladi zavarivači su upravo kretali put Kine. A oni su se vratili nedugo zatim, sa bronzanim odličjem, sa nagradom koju teško da smo smeli da prizovemo i u snovima.***

***Izgleda da je i ovoga puta pobedila želja nadmašivši mogućnosti.***

***Uz još jednu čestitku celom timu, u ovom broju će biti dat detaljan prikaz njihovog putovanja do nebeskih visina.***

***Događaja je bilo još.***

***Jedan od njih je Godišnja skupština Međunarodnog instituta za zavarivanje a iscrpan izveštaj je takođe u ovom broju.***

***Poslednji u nizu događaja je svakako naše bijenalno savetovanje, 29. po redu. Trenutke rada i druženja tokom ove manifestacije pokušaćete da vam prenesu fotografije sa „lica mesta“. Naravno da nije moguće preneti događaj u celini, tako da oni koji su ovo propustili zbilja imaju za čim da žale. Ovo je još jedna prilika da zahvalimo našim sponzorima, bez kojih ni ovo savetovanje ne bi bilo ovako uspešno.***

***Za poznu jesen, nadamo se i konačno, pripremamo seminar sa temom „Termička obrada čelika i zavarenih spojeva“. Ova značajna i ozbiljna tematika našeg posla bi trebalo da nas uvede i u poslednji mesec ove godine i četvrti broj našeg i vašeg časopisa.***

***Do tada uživajte u sadržaju ovog broja.***

***S poštovanjem,***

***Glavni i odgovorni urednik  
Milica Antić, dipl.ing, EWE***



## Savetovanje "ZAVARIVANJE 2016" Srebrno jezero, 14 – 17. septembar 2016.

Na „srebrnim“ talasima Dunava i uz blještavi sjaj leta na zalasku, od 14-17. septembra 2016. godine u hotelu Danubia Park održano je naše 29. Savetovanje „ZAVARIVANJE 2016“.

Ovom prilikom smo imali mogućnost da pročitamo 28 radova iz svih oblasti vezanih za zavarivanje, čujemo i vidimo predstavljanje naših sponzora i uživamo u ponovnom druženju i uspostavljanju novih prijateljstava.

Po običaju, radovi su svrstani i izlagani u 4 tematske grupe. Iz grupe „Konvencionalni i nekonvencionalni postupci zavarivanja“ izloženo je 7 radova, iz grupe „Osnovni, dodatni i pomoćni materijali“ 7 radova, iz grupe „Integritet konstrukcija i osiguranje kvaliteta“ 7 radova i iz grupe „Tehnička regulativa, obrazovanje, ekologija i zaštita“ 3 rada.

### Radni deo savetovanja...



Dr. Grabulov Vencislav,  
Predsednik Naučno-stručnog odbora  
pozdravlja učesnike



Božo Despotović



Zoran Kožuh



Ljubica Radović



Zoran Perović



Radomir Jovičić

### Atmosfera u sali...



Nastavak na strani 139

Božo Despotović<sup>1</sup>, Ivan Samardžić<sup>2</sup>, Tihomir Marsenić<sup>1</sup>

## WELDING OF TUBE / PIPE SYSTEMS IN BOILER PRODUCTION ZAVARIVANJE CEVNIH SISTEMA U KOTLOGRADNJI

**Originalni naučni rad / Original scientific paper****Rad primljen / Paper received:**

Septembar 2016.

*Rad je u izvornom obliku objavljen u Zborniku sa savetovanja „ZAVARIVANJE 2016“ održanog na Srebrnom jezeru 14-17. Septembra 2016*

**Ključne reči:** ručni i mehanizovani procesi zavarivanja, priprema spojeva, osiguranje kvaliteta

**Adresa autora / Author's address:**

<sup>1</sup>Đuro Đaković, TEP d.o.o, Dr. Mile Budaka 1, Slavonski Brod, Hrvatska [despotovic.bozo@gmail.com](mailto:despotovic.bozo@gmail.com)  
<sup>2</sup>Strojarski fakultet, Trg I.B.Mažuranić 2, Slavonski Brod, Hrvatska

**Key words:** manual and mechanized welding processes, preparing of joint, quality assurance

**Abstract:**

The paper describes TIG, SMAW and SAW as basic welding processes used for pipe / tube welding in boiler production. Type of base metals, joint preparing, welding parameters and shielding gases are the most important variables which are defined in WPS. For mechanized welding processes the most important is mechanical preparation of the edges-joint. Welders and operators education and training, workshop control before, during and after welding are integral parts of the quality assurance of process.

**Rezime:**

U radu se opisuju TIG, REL i EPP postupak zavarivanja kao osnovni procesi zavarivanja cevni sistema u kotlogradnji. Vrste osnovnog materijala koji se zavaruju, priprema spojeva, parametri zavarivanja kao i zaštitni gasovi pri zavarivanja su najvažnije varijable koje su definisane Uputstvima za zavarivanje. Za mehanizovane procese zavarivanja nužna je mašinska priprema žljeba za zavarivanje.

Obuka i vežbe zavarivača, radionička kontrola pre za vreme i nakon zavarivanja su sastavni dio u osiguranju kvaliteta ovih procesa.

**1. INTRODUCTION**

Boiler systems, regardless of operating parameters and specific design is basically a heat exchanger. Thermal energy is created by burning fuel in the combustion chamber and the media is transferred to the water which is circulating through the various pipe systems. In this way energy state of water is raised to the highest degree required to operation of steam turbines or for specific purposes.

Piping systems, as well as the basic structure of boiler components, can be divided into functional groups such as:

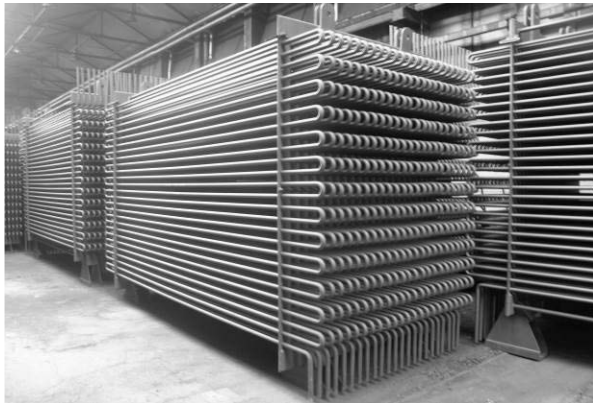
- evaporators,
- superheaters of different degrees,
- reheaters,
- economisers,
- air heaters,
- pipelines for various purposes,
- supporting pipes, etc.

**1. UVOD**

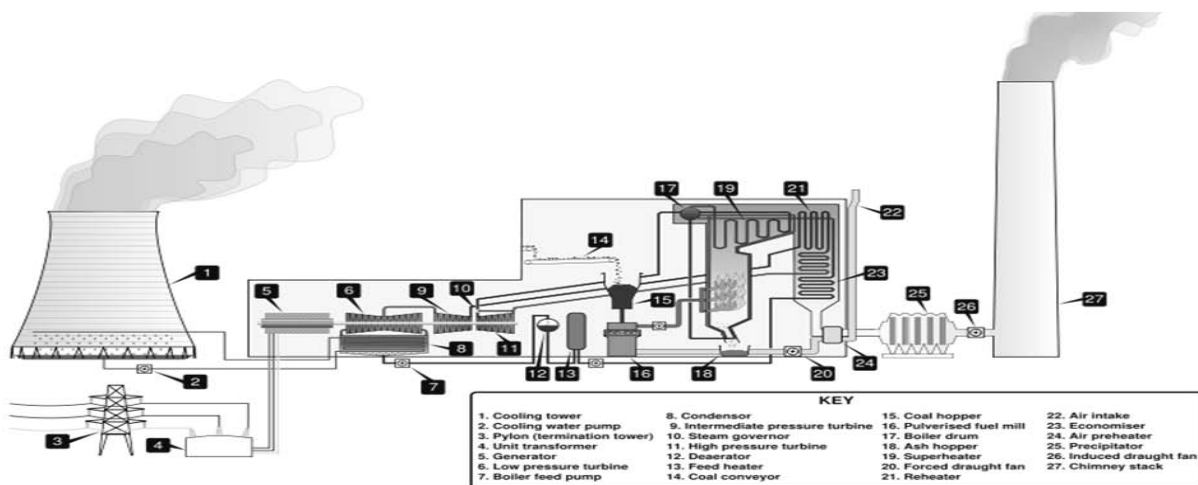
Kotlovi, bez obzira na radne parametre i specifičan dizajn su u osnovi izmjenjivač topline. Toplotna energija se stvara spaljivanjem goriva u komori za sagorevanje i medijuma koji je prenosi na vodu koja kruži kroz različite cevne sisteme. Na ovaj način energetsko stanje vode se podiže na najviši stepen potreban za rad parnih turbina ili za određene svrhe.

Cevni sistemi, kao i osnovna struktura komponenti kotla, mogu se podeliti u funkcionalne grupe, kao što su:

- isparivača
- superzagrejača različitih stepena
- međupregrejača
- ekonomajzera
- zagrejača vazduha
- cevovoda različitih namena
- nosećih (potpornih) cevi, itd.



**Figure 1.** Overview of typical piping system "package" pipe snake and appearance of one of the superheater  
**Slika 1.** Pregled tipičnih cevnih sistema "paket" cevnih zmiija i izgled jednog od pregrejača



**Figure 2.** Overview of the typical boiler plant with the each component names  
**Slika 2.** Pregled tipičnog kotlovskog postrojenja sa nazivom svake komponente

Each of these functional components have different operating parameters and therefore the materials incorporated in the pipe systems are different and adapted to these parameters. Permanent strength and creep resistance properties of these materials have a dominant role due to expected life of the boiler plant.

As the plants are classified in the group of pressure vessels, pressure, temperature, and creep resistance properties are the basic parameters in designing of these plants.

Regardless of the chosen design of the plant and the operating parameters welding technique is the core technology in manufacturing of complete plants and individual pipe systems.

Terminology speaking pipe systems can be classified into two different main groups. At first view there is no difference between "small pipe" (or Tube) and "large pipe" (or Pipe) . But group of tubes/pipes are defined by a separate specification, both groups are made of steel, they

Svaka od ovih funkcionalnih komponenti ima različite radne parametre, a time i ugrađene materijale u cevnim sistemima koji su različiti i prilagođeni ovim parametrima. Stalna čvrstoća i otpornost na puzanje tih materijala imaju dominantnu ulogu zbog očekivanog trajanja kotlovskog postrojenja.

S obzirom da ova postrojenja potpadaju u opremu pod pritiskom, pritisak, temperatura, i svojstva otpornosti na puzanje su osnovni parametri u konstruisanju ovih postrojenja.

Bez obzira na izabranu konstrukciju postrojenja i radne parametre, tehnika zavarivanja je srž tehnologije u proizvodnji kompletnih postrojenja i pojedinačnih cevnih sistema.

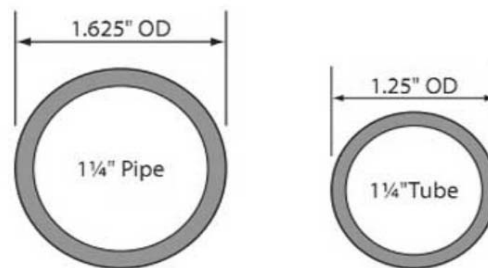
Terminološki govoreći, cevni sistemi se mogu svrstati u dve različite glavne grupe. Na prvi pogled ne postoji razlika između "malih cevi" (ili "tube") i "velike cevi" (ili "pipe"). Ali grupa "tubes / pipes" je definisana posebnom specifikacijom, obe grupe su napravljene od čelika, istog su oblika



are the same shapes and they all are used for medium flow, etc.

But there are a few significant differences (referred to same sources there are 15 differences between them). The differences are in the tolerances of the diameter and wall thickness (small pipes have significantly narrower tolerances), the differences are in terms of the design process, mechanical properties, prices, applications, etc.

Large pipes are referred to nominal outside diameter including wall thickness while the small tubes are referred differently, clearly visible in Figure 3.



**Figure 3.** Example distinctions between "large" (or "Pipe") and "small" (or "Tube") pipes size 1 1/4"  
**Slika 3.** Primer razlike između "velikih" (ili "pipes") i "malih" (ili "tubes") cevi veličine 1 1/4 "

Pipe / Tube manufacturers generally consider that the small pipes have pipe diameter of approximately 7 " and all above that are considered as large pipes .

## 2. WELDING PROCESSES

Welding sparks process as one of the first processes for pipe system welding is no more in application due to the problems with the quality of welds and corrosion in the weld zone.

SMAW and SAW welding processes are applicable to larger diameters and larger wall thicknesses and they are considered as standard well known and reliable welding procedures.

TIG welding process, hand type or mechanized type, are today dominant in technology of pipe systems welding. Manual procedure is well known and it is now the most applicable. Respecting all these known advantages of this procedure it has to be taken into consideration the fact that this process is most of all dependent on welder, his level of education, his concentration, his motivation as well as his imperfections.

There are two different types of mechanized and automated TIG welding processes:

- tube / pipe which is welded makes rotation during welding and burner-torch is in the same position, and
- burner-torch make rotation around the pipe

i svi oni se koriste za protok medijuma, itd, ali postoji nekoliko značajnih razlika (prema istom izvoru postoje 15 razlika između njih). Razlike su u tolerancijama prečnika i debljine zida (male cevi imaju znatno uže tolerancije), razlike su u pogledu procesa konstruisanja, mehaničkih svojstava, cene, primene, itd

Velike cevi se nazivaju sa nominalnim spoljašnjim prečnikom uključujući debljinu zida, dok se male cevi različito nazivaju, jasno se vidi na slici 3.

Proizvođači malih cevi / velikih cevi generalno smatraju da male cevi imaju prečnik cevi od oko 7" i sve iznad toga se smatra velikim cevima.

## 2. POSTUPCI ZAVARIVANJA

Postupak zavarivanja iskrenjem kao jedan od prvih postupaka zavarivanja cevnog sistema nije više u primeni zbog problema sa kvalitetom zavarenih spojeva i korozije u zoni zavarivanja.

Postupci zavarivanja REL i EPP važe za veće prečnike i veće debljine zida i oni se smatraju kao standardni dobro poznat i pouzdan način zavarivanja.

TIG postupak zavarivanja, ručnog ili mehanizovanog tipa, danas je dominantna tehnologija zavarivanja cevni sistema. Ručni postupak je dobro poznat i danas se najviše primenjuje. Poštujući sve poznate prednosti ovog postupka mora se uzeti u obzir činjenica da ovaj postupak pre svega zavisi od zavarivač, njegovog nivoa obučenosti, njegove koncentracije, motivacije kao i njegove nesavršenosti.

Postoje dve različite vrste mehanizovanih i automatizovanih TIG procesa zavarivanja:

- mala cev / velika cev koje se zavaruju, rotiraju tokom zavarivanja a gorionik/pištolj je u istom položaju, i
- gorionik/pištolj rotira oko cevi u toku zavarivanja



during welding (the path orbit shape - hence the name orbital welding).

#### Automated TIG welding method, 2. a)

This procedure is very reliable and stable primarily due to the constant position of the molten bath during welding. The method can be used as a single-pass and multi-pass process. Single-pass welding method is applicable to smaller diameter and wall thickness. Process requires a flat preparing of the tube ends with a minimum clearance - gap in joint preparing.

Multi-pass welding process with circuit types of joint preparation form "V" or form "U" is used for greater diameters and wall thickness. Figure 4.

(put je orbitalnog oblika - otuda i naziv orbitalno zavarivanje).

#### Automatizovana metoda TIG zavarivanja 2. a)

Ovaj postupak je vrlo pouzdan i stabilan, prvenstveno zbog konstantnog položaja rastopljene kupke u toku zavarivanja. Metoda se može koristiti za jedan prolaz i više prolaza. Jednoslojni način dodavanja je primjenjiv na manjim prečnicima i debljinama zida. Proces zahteva ravnu pripremu krajeva cevi sa minimalnim zazorom u pripremi spoja.

Višeslojni proces zavarivanja sa tipovima priprema spoja oblika "V" ili u obliku "U" se koristi za veće prečnike i debljine zida (slika 4).

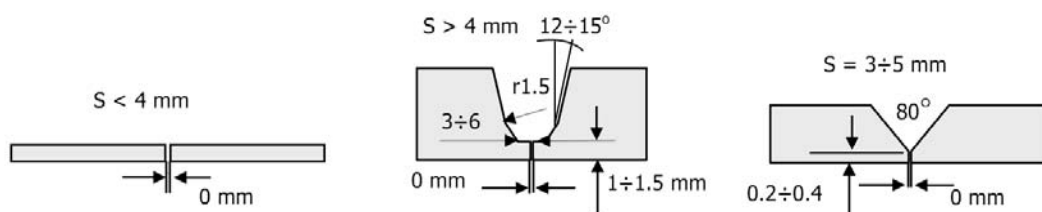


Figure 4. Forms of joint preparation – groove for various wall thickness of tubes

Slika 4. Oblici pripreme spoja – žljebovi za različite debljine zida malih cevi

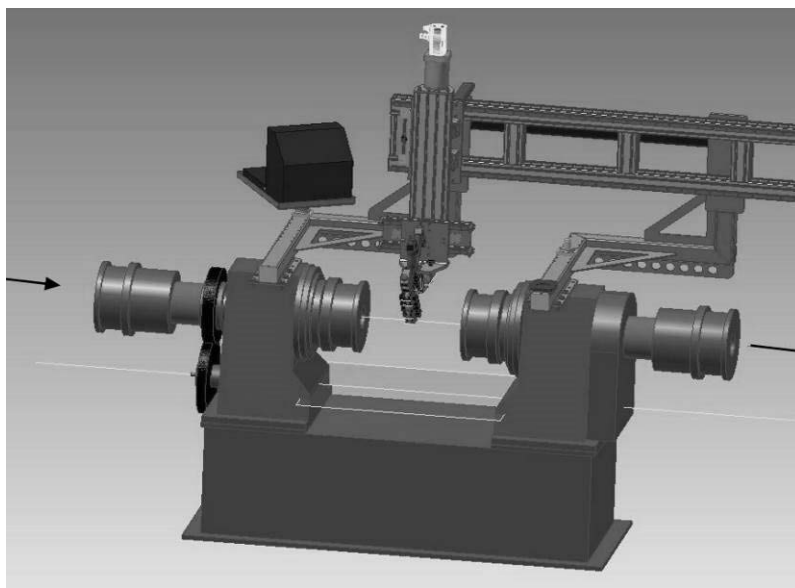


Figure 5. Visage of the machine for automated TIG - TIG process, tube rotates during welding

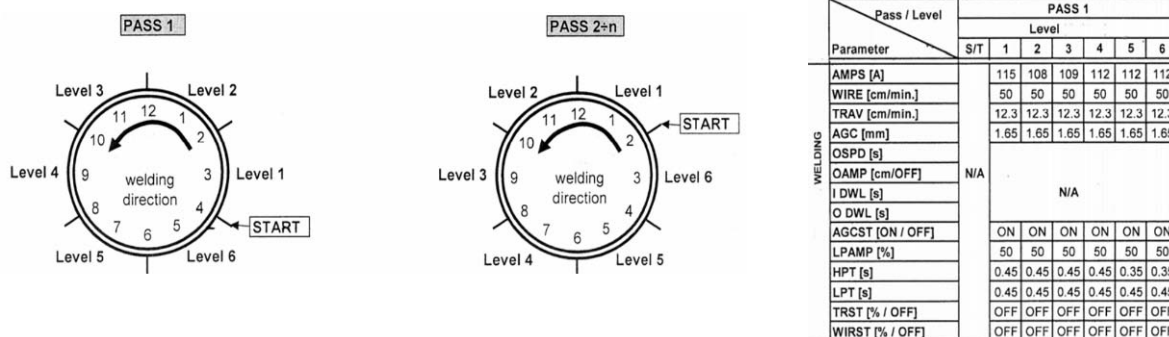
Slika 5. Izgled mašine za automatsko TIG-TIG zavarivanje, cev rotira tokom zavarivanja

**Automated TIG welding method, 2. b)** In case of welding of pipes with tight production tolerances of dimensions, chemical composition and consistent quality through the cross sections of tubes this type of welding process has the most common applications. The limiting factor is the space between tubes which must be provided for freely rotation of the welding head with the torch around the pipe.

**Automatizovana metoda TIG zavarivanja 2. b)** U slučaju zavarivanja cevi s uskim proizvodnim tolerancijama dimenzija, hemijskog sastava i doslednog kvaliteta kroz preseke cevi, ova vrsta zavarivanja se najčešće primenjuje. Ograničavajući faktor je prostor između cevi koji mora biti predviđen za slobodno okretanje glave za zavarivanje sa pištoljem oko cevi.



**Figure 6.** Left : Manual TIG welding. Right : Automated orbital TIG welding  
**Slika 6.** Levo; Ručno TIG , Desno; Automatsko orbitalno zavarivanje



**Figure 7.** Example for orbital TIG welding : Levels - sectors of welding and welding parameters  
**Slika 7.** Primer za orbitalno TIG zavarivanje; Nivoi- sektori zavarivanja i parametri zavarivanja

**3. BASE AND FILLER MATERIALS**

Although today we can often meet with specific materials (eg. Ni alloy type APRI P 87) the basic materials for pipe/tube systems are standardized, classified in quality groups and proven in operation. The most common application of these systems have a special steel pipes (P 235 JRG, P 295 JRG), alloy tubes with Mo (16Mo3), alloy Cr-Mo (45 13CrMo, 11CrMo 910, P / T 23, P / T 24, ..) or microalloying elements (V, W, Ti, B, ...) as well as stainless tubes. Addition of alloying elements in production of tubes or/and thermo-mechanical preparation during the production are the methods. to achieve mechanical, corrosion and other necessary properties of tube base materials Filler materials by types, diameters and metallurgical aspects should be adjusted to base material which is welded.

Boiler standards cover all basic types and kinds of steels for tube / pipe production and application. Steels are classified into quality groups as shown below.

Note: view presents only the main groups of steel.

**3. OSNOVNI I DODATNI MATERIJALI**

Iako danas često možemo sretati sa specifičnim materijalima (npr. tipa Ni legure APRI P 87) osnovni materijali za sisteme velikih cevi / malih cevi su standardizovani, svrstani u grupe kvaliteta i provereni u radu. Najčešću primenu ovih sistema imaju posebne čelične cevi (P 235 JRG, P 295 JRG), legirane cevi sa Mo (16Mo3), legirane sa Cr-Mo (45 13CrMo, 11CrMo 910, P / T 23, P / T 24 , ..) ili mikrolegirajućim elementima (V, W, Ti, B, ...), kao i nerđajuće cevi. Dodatak legirajućih elemenata u proizvodnji cevi i / ili termo-mehanička prerada tokom proizvodnje su metode za postizanje mehaničkih, korozionih i drugih potrebnih osobina osnovnih materijala cevi.

Dodatne materijale po vrstama, prečniku i metalurškim aspektima treba prilagoditi osnovnom materijalu koji se zavaruje.

Standardi za kotlove obuhvataju sve osnovne vrste i vrste čelika za proizvodnju malih cevi / velikih cevi i primene. Čelici su svrstani u grupe kvaliteta kao što je prikazano u nastavku.

Napomena: pregled predstavlja samo glavne grupe čelika.



Steel Group	Material designation according to CR ISO 15608:2000
1.1.	P235JRG2; P235 GH-TC1; P235 GH-TC2; P265 GH
1.2.	P295 GH; P355 GH; P355 N; 16Mo3
1.4.	X10CrAl7
3.1.	26CrMo4-2; 21CrMoV 5 7
4.2.	15NiCuMoNb 5-6-4
5.1.	13CrMo 4-5
5.2.	10CrMo 9-10; 11CrMo 9-10
6.1.	14MoV 6 3
6.2.	7CrWVMoNb 9-6; 7CrMoVTi 10-10
6.4.	X10CrMoVNb 9-1; X10CrWMoVNb 9-2; X12CrWMoVNb 12-2-2; X20CrMoV 11-1
7.1.	X10CrAl24
8.1.	X5CrNi 18-10
8.2.	X10NiCrAlTi 32-30; X5NiCrCeNb 32-27-AC66; X1NiCrMoCuNb 31-27-4

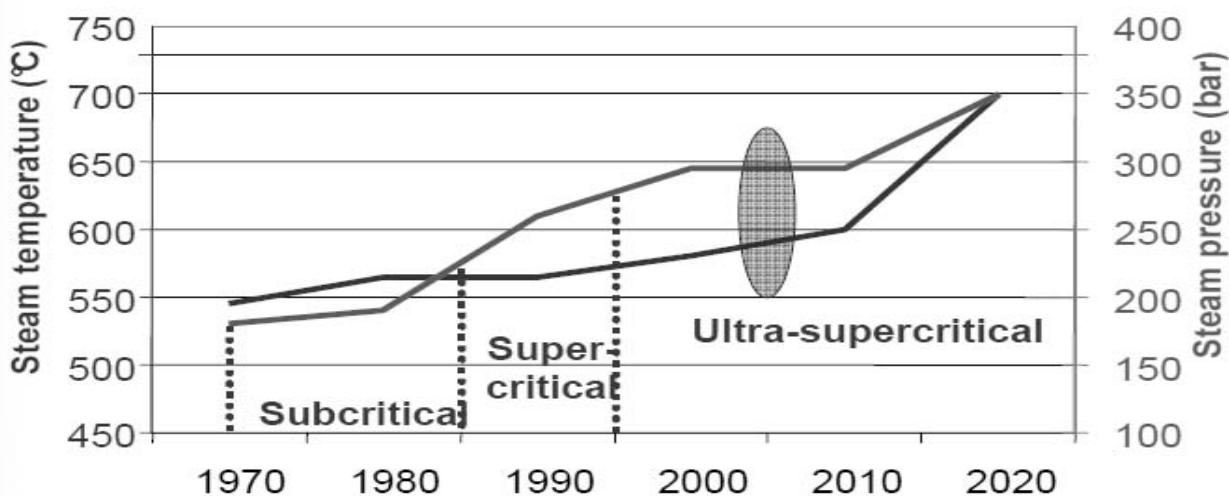


Figure 8. Dependence of steam pressure and operating temperature of the boiler basic types of steel  
 Slika 8. Zavisnost pritiska pare i radne temperature osnovnih kotlovskih čelika

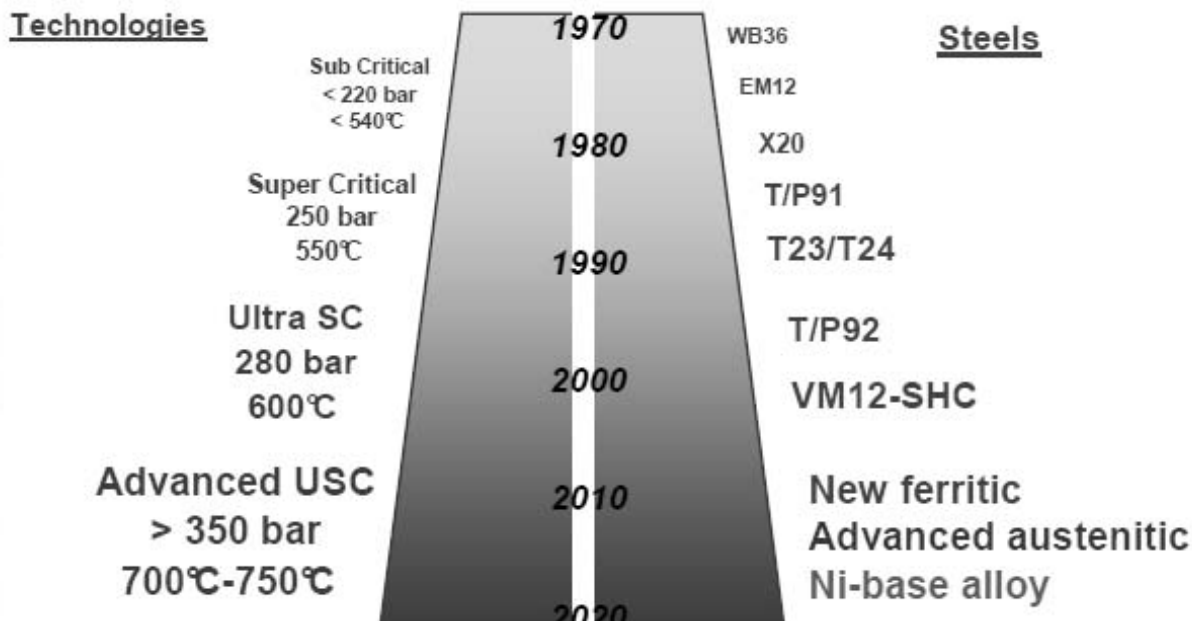


Figure 9. Development of basic materials as a result of the development of thermal power plants  
 Slika 9. Razvoj osnovni materijala kao rezultat razvoja termoenergetskih postrojenja



### 4. WELDING PARAMETERS AND SHIELDING GASSES

All important variables related to welding are defined by qualified welding specifications (WPS-s) which are based on welding procedures qualifications (WPQR-s). For manual welding process trend of defining welding parameters is to limit the parameters validity in the areas which are especially important. Therefore it is necessary to have the basic welding parameters defined for each welding pass. Welding current, run width, thickness of each pass and preheat / interpass temperatures are important variables in this case.

### 4. POSTUPCI ZAVARIVANJA I ZAŠTITNI GASOVI

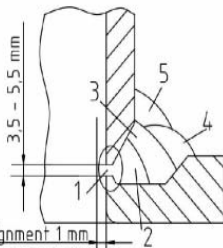
Sve važne varijable koje se odnose na zavarivanje definisane su kvalifikovanim specifikacijama zavarivanja (WPS-e) koje su zasnovane na kvalifikacijama zavarivanja (WPQR-e). Za ručne postupke zavarivanja, trend definisanja parametara zavarivanja je da se ograniči valjanost parametara u područjima koja su od posebnog značaja. Zbog toga je potrebno imati osnovne parametre zavarivanja definisane za svaki zavareni sloj. Struja zavarivanja, širina prolaza, debljina svakog prolaza i predgrevanje/međuprolazna temperatura su važne varijable u ovom slučaju.

Pojediniosti zavarivanja/ Details of welding/ Einzelheiten für das Schweißen										
WS br. WS No. WS Nr.	Slijed zav. Welding sequence Schweiss- folge	Postupak Process Prozess (EN ISO 4063)	Položaj zav. Welding pos. Schw. pos. (EN ISO 6947)	Dodatni materijal EN Filler metal EN Zusatzwerkstoff EN Trgovачka oznaka Trade mark Handelsname	Promjer Diameter Durch- messer [mm]	Struja Current Strom- stärke [A]	=, ~/ +,-	Napon Voltage Spannung [V]	Brzina zav. Travel speed Schweiss- geschw. [cm/min]	*Unos topline Heat input Wärme einbringung [kJ/mm] (EN 1011-1)
1	Korijen Root Wurzel	141	PF	EN ISO 21952: WZ CrMo 2 V Ti/NE Union IP24 T-PUT	2÷2,4	70÷130	=,-	12,0÷17,9	3,5÷6,0	1,2
2	Popuna Fillpass Fullage	141	PF	EN ISO 21952: WZ CrMo 2 V Ti/NE Union IP24 T-PUT	2÷2,4	80÷180	=,-	12,4÷19,3	4,0÷11,0	1,2
P. HODKALJE DDI WFM - Handling Umgang mit WFM				Vidi / See / Siehe QMP 15-02	Maks. širina prolaza / Max. width of run / Max. weite von Schweißraupe [mm]	12	Maks. debljina prolaza / Max. weld thickness of run/ Max. dicke Schweißraupe [mm]	2,5 (3,0)	*Prosječni unos topline / Average heat input / Durchschnitt Wärme einbringung [kJ/mm]	-

Figure 10. Section from the WPS which defines the basic parameters of welding  
Slika 10. Deo WPS koji definiše osnovne parametre zavarivanja

#### SKETCH – WELDING SEQUENCE

Projekt / Project : Dablin (26.0225)  
Crtež / Dwg. : 341.050.01; 345.050.01; 346.050.01;  
Tip zavara / Weld No. : 1; 2; 3  
Uputa za zavarivanje / WPS : 001-1-NW01-01; 001-1-NW02-01  
Postupak zavarivanja / Welding process : 141  
Pozicija zavarivanja / Welding position : PH/PB  
Dimenzije / Dimension : Komora / Header Ø114,3 x 14,2mm  
Cijev / Tube Ø48,3 x 5 / 6,3mm



Dozvoljeno smicanje/Allowed alignment 1 mm.

#### REDSLJED I PARAMETRI ZAVARIVANJA / WELDING SEQUENCE AND PARAMETERS

PROLAZI / PASSES	STRUJA ZAVARIVANJA / WELDING CURRENT - I [A]	ŠIRINA PROLAZA / WIDTH OF PASS	MEĐUPROLAZNA TEMP. / INTERPASS TEMP.
1. KORIJEN / PASS (ROOT)	140 - 180	9 mm	-
2. POPUNA / PASS (FILLING)	170 - 190	9 mm	150 °C
3. POPUNA / PASS (FILLING)	180 - 190	12 mm	150 °C
4. ZAVRŠNI / PASS (FINAL LAYER)	180 - 190	14 mm	350 °C
5. ZAVRŠNI / PASS (FINAL LAYER)	160 - 180	10 mm	350 °C

Promjer cijevi: Ø 25-76,3mm Debljina stijenke: t 5,6-6,3mm Položaj zavarivanja PH				
Broj prolaza	Struja zavarivanja A	maksimalna širina prolaza (mm)	debljina prolaza min/max (mm)	temp. predgrijavanja ili međuprolazna °C
1	95-135	8	2,5/3,5	min 5
2	105-145	10	2/3	100
3	120-160	10	2/3	100

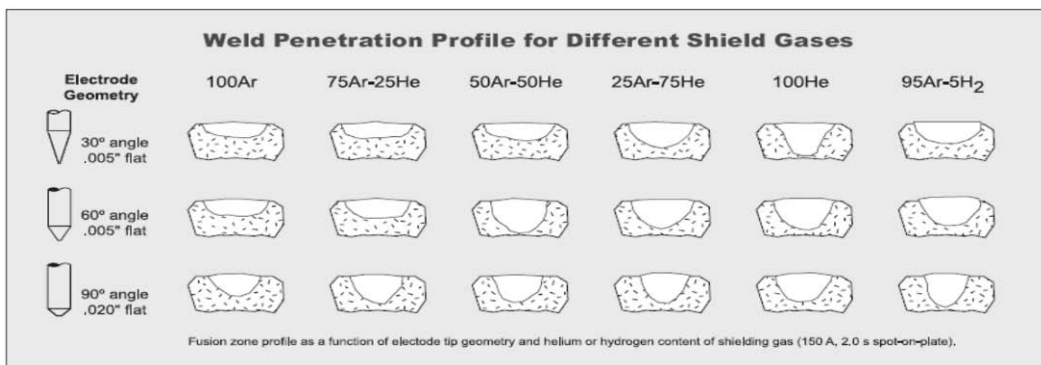
Promjer cijevi: Ø 48-88,9mm Debljina stijenke: t 7,1mm Položaj zavarivanja PH				
Broj prolaza	Struja zavarivanja A	maksimalna širina prolaza (mm)	debljina prolaza min/max (mm)	temp. predgrijavanja ili međuprolazna °C
1	100-140	8	2,5/3,5	min 5
2	110-150	10	2/3	100
3	120-170	10	2/3	100
4,5	120-160	10	2/3	100

Figure 11. Examples of appendix to WPS s with defined essential parameters of welding  
Slika 11. Primeri dodatka WPS sa definisanim osnovnim parametrima zavarivanja



Argon and Helium are the basic primary gasses for welding and for protection of roots as secondary gasses. Small amounts of other gases are added to Ar or He for special purpose to increase the specific effects of the welding arc. Regardless of the type of the base material to be welded and the shielding gas applied in each welded joint it is understood to be good penetration in the base material. Types of protective gas election and geometry of the tungsten electrode can directly affect the depth and shape of penetration.

Argon i helijum su osnovni primarni gasovi za zavarivanje i za zaštitu korena kao sekundarnih gasova. Male količine drugih gasova dodatih Ar ili He je za posebne namene za povećanje specifičnih efekata zavarivačkog luka. Bez obzira na vrstu osnovnog materijala koji se zavaruje i zaštitni gas koji se primjenjuje u svakom zavarenom spoju, jasno da mora da se ostvari dobro uvarivanje u osnovni materijal. Izbor vrste zaštitnog gasa i geometrija volframove elektrode mogu direktno uticati na dubinu i oblik uvarivanja.



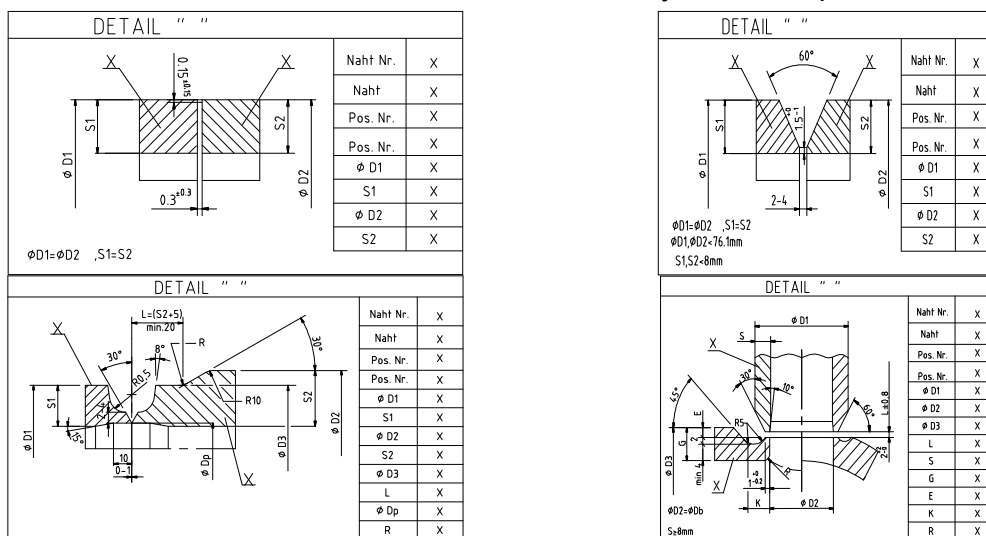
**Figure 12.** Depth and profile of penetration depending on shield gases and geometry of W electrode  
**Slika 12.** Dubina i profil uvarivanja zavisno od zaštitnog gasa i geometrije W elektrode

**5. PREPARATION OF WELDING GROOVE**

Groove preparation for welding by machining process is recommended in all cases where it is applicable. Only for manual welding preparation can be made by hand tools. It is especially useful in cases of pre-assembly or assembly of tube / pipe systems. For automated orbital welding method tolerance of tube / pipe grooves preparing are one of the important variables and they must be controlled and maintained. Typical groove forms in case of butt welding and nozzles welding are shown in Figure 13.

**5. PRIPREMA ŽLJEBA ZA ZAVARIVANJE**

Priprema žljeba za zavarivanje mašinskom obradom preporučuje se u svim slučajevima u kada je to moguće. Samo kod ručnog zavarivanja, priprema može biti ručnim alatima. To je posebno korisno u slučajevima pred-montaže ili montaži sistema malih cevi / velikih cevi. Za automatsko orbitalno zavarivanje način tolerancije žljebova malih cevi / velikih cevi je jedna od važnih varijabli i oni moraju biti pod kontrolom i održavani. Tipični oblici žljeba u slučaju sučeonog zavarivanja i zavarivanja mlaznica prikazani su na slici 13.



**Figure 13.** Groove forms in case of butt welding and nozzles welding  
**Slika 13.** Oblici žljeba u slučaju sučeonog zavarivanja i zavarivanja mlaznica

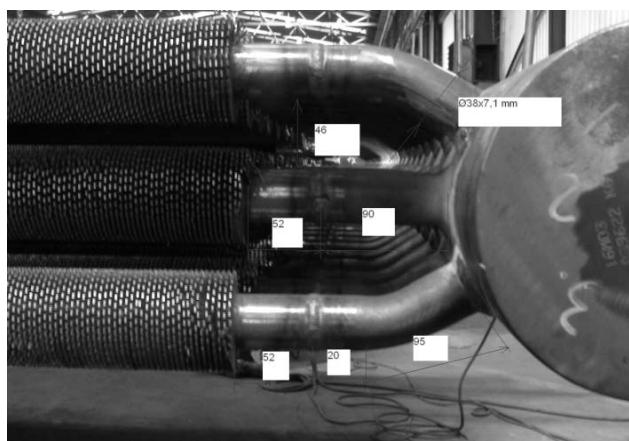
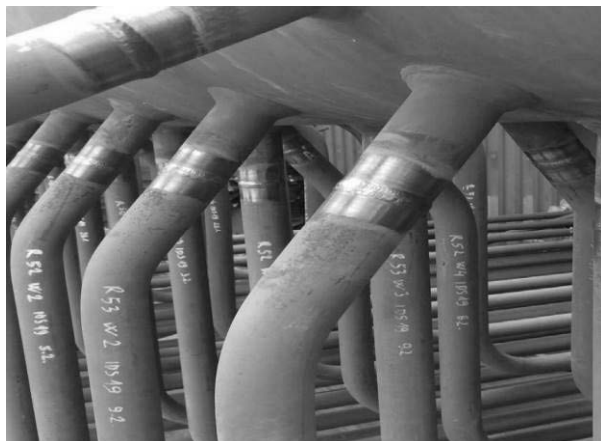


## 6. QUALITY ASSURANCE OF WELDING TUBE / PIPE SYSTEMS

Quality assurance, as well as in other processes, involves a sequence of related activities before, during and after welding. Workshop documentations for performance must contain all relevant information about any of the details of welding, applicable procedures, welding parameters, scope and methods of control including clearly defined acceptability criteria etc. Methods and controls scope of making tube / pipe systems are carried out according to norms, specifications or standards. This code for QA of products depends on the type of product and the following norms are used for area of Europe mostly:

EN ISO 17637	(umjesto / instead EN 970 (VT metoda / method)
EN ISO 9712	(umjesto / instead EN 473 (VNDT osoblje / personnel)
EN ISO 5817	(Stupnjevi kvalitete zavara / Quality levels for welds)
EN ISO 6520-1	(Klasifikacija nepravilnosti / Classification of imperfections)
EN 12952-6	(Cjevovodni kotlovi / Water tube boilers)
EN 13480-5	(Metalni industrijski cjevovodi / Metallic industrial piping)
EN 13445-5	(Tlačne posude / Pressure vessels)
EN 1090-2	(Čelična konstrukcija / Steel structure)

The space position and arrangement of welded joints are often the limiting factors in defining the method and scope of control. Figure 14.a) shows the case where access to welding and NDT is easy and without limits and b) where it is different and difficult.



**Figure 14.** a) no limits for welding and NDT and b) unfavorable location of welded joints  
**Slika 14.** a) bez ograničenja za zavarivanje i IBR i b) nepovoljna lokacija zavarenih spojeva

In this and in all other cases, the most important method of control is visual control.

Basically there are two different methods of visual control of welded joints:

a) direct visual control - inspection, applied to all surfaces, connections and parts which are visible to the eye. For this method various assisting tools can be used: comparative samples, magnify glass, tool for size measurement, for different lighting, etc., and

## 6. OBEZBEĐENJE KVALITETA PRI ZAVARIVANJU SISTEMA MALIH / VELIKIH CEVI

Obezbeđenje kvaliteta, kao i u drugim procesima, uključuje niz povezanih aktivnosti pre, za vreme i nakon zavarivanja. Dokumentacije radionice za izvođenje mora sadržavati sve relevantne informacije o svim detaljima zavarivanja, važećim procedurama, parametrima zavarivanja, obimu i metodama kontrole uključujući i jasno definisane kriterijime prihvatljivosti itd. Metode i obim kontrole izrade sistema malih cevi / velikih cevi se obavlja u skladu sa normama, specifikacijama ili standardima. Ovaj kod za QA proizvoda zavisi od vrste proizvoda i sledeće norme se uglavnom koriste za područje Evrope:

Položaj i raspored zavarenih spojeva prostora često su ograničavajući faktori u definisanju načina i obima kontrole. Slika 14.a) prikazuje slučaj gde je lak i bez ograničenja pristup zavarivanju i IBR i b) gde je drugačije i teško.

U ovom i u svim drugim slučajevima, najvažnija metoda kontrole je vizuelna kontrola.

U osnovi postoje dva različita načina vizuelne kontrole zavarenih spojeva:

a) direktna vizuelna kontrola - pregled, primenjuje se na sve površine, veze i delove koji su vidljivi golim okom. Za ovaj način mogu se koristiti različiti pomoćni alati: komparativni uzorci, uveličavajuća stakla, alati za merenje veličina, za različito osvetljenje, itd, i



b) indirect visual control - inspection, applicable to all cases that can't be controlled by a) method. Direct visual inspection is well known as described. For welded tube / pipe systems, indirect visual control is often the only way to determine the condition of welds which are "invisible" (mostly roots of welds). Indirect visual inspection is carried out by using special control equipment as videoscope / endoscope with certain technical features appropriate for given tube/pipe systems. One of the applicable video system - endoscope are shown in Figure 15. and has following technical characteristics:

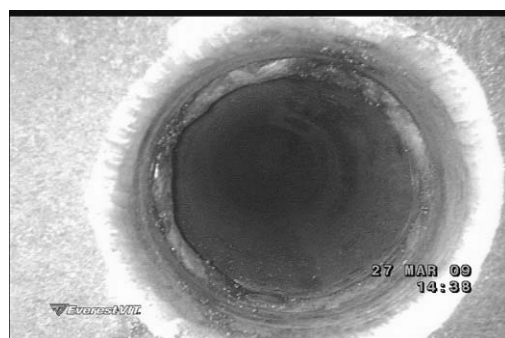
- light guide / conductor diameter of 6.1 / 8 mm length of 2 / 4.5 / 6 mm with variable optics,
- manipulation using joystick,
- LCD display,
- microcomputer memory for storing pictures and movies
- light source for light guide,
- supplies for positioning,
- operating temperature level : - 20 ° C to + 40 ° C

b) indirektna vizuelna kontrola - pregled, primenjuje se u slučajevima koji se ne mogu kontrolisati metodom a).

Direktan vizuelni pregled je poznat kao što je već opisano. Za zavarene sisteme male cevi / velike cevi, indirektna vizuelna kontrola je često jedini način da se utvrdi stanje zavarenih spojeva koji su "nevidljivi" (uglavnom koreni zavora). Indirektni vizuelni pregled vrši se pomoću posebne opreme kao videoskop / endoskop s određenim tehničkim karakteristikama koje odgovaraju datim sistemima malih cevi / velikih cevi.

Jedan od primenljivih video sistema - endoskopa su prikazani na slici 15. i ima sledeće tehničke karakteristike:

- vodič svetla / provodnik prečnika od 6,1/8 mm dužine od 2/4,5 /6 mm sa varijabilnom optikom,
- manipulacija koristeći "joystick",
- LCD zaslon,
- mikroracunarska memorija za skladištenje slika i video zapisa
- izvor svetlosti za vodič svetla,
- zalihe za pozicioniranje,
- nivo radnih temperatura: - 20 ° C do + 40 ° C



### Indirect visual examination

Computerized video system XL PRO-EVEREST VIT

**Figure 15.** Inspection of roots TIG welds: Operator in action, picture of endoscope and color image of good root welded joint

**Slika 15.** Kontrola korena TIG zavarenih spojeva; Operater u radu, slika endoskopa i kolor slika dobrog korena zavarenog spoja

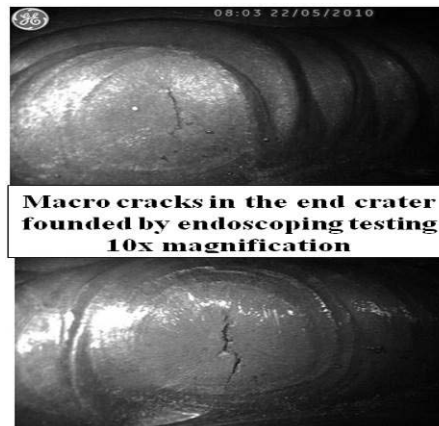
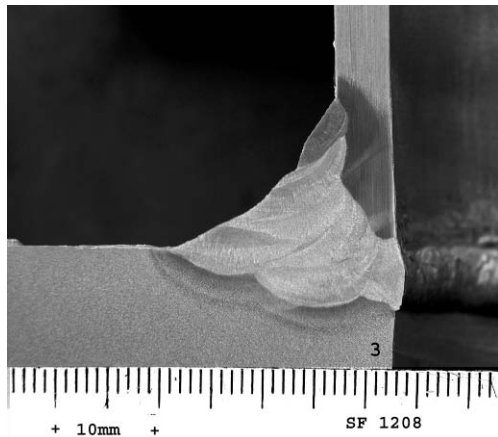
For this method of control it is extremely important education level of operator who performs the control / examination. Interpretation of types and

Za ovaj način kontrole je izuzetno važan nivo obrazovanja operatera koji obavlja kontrolu / ispitivanje. Tumačenje vrste i procene veličine



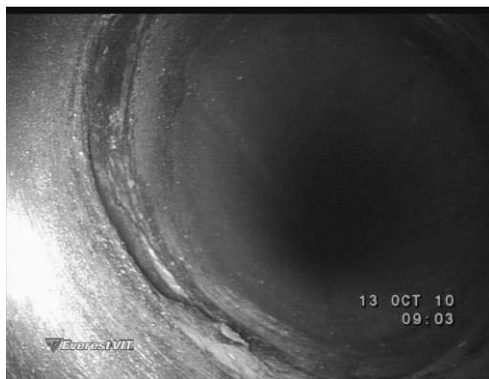
estimation of sizes of the observed deviation are of exceptional importance for this method of control. Real macro-sections of typical welded joints can be used for prescribing proper welding techniques, training of welders and education of operators for visual inspection. Comparative control methods applied in the beginning of the production as well as NDT at the right time during the manufacturing process is very reliable way to avoid possible errors and delays in production.

posmatranog odstupanja su od izuzetnog značaja za ovu metodu kontrole. Realni makro-preseci tipičnih zavarenih spojeva mogu se koristiti za propisivanje odgovarajuće tehnike zavarivanja, obuku zavarivača i obrazovanje operatora za vizuelnu kontrolu. Komparativne metode kontrole se primenjuju u početku proizvodnje, kao i IBR u pravo vreme u procesu proizvodnje su vrlo pouzdan način da se izbegnu moguće greške i kašnjenja u proizvodnji.



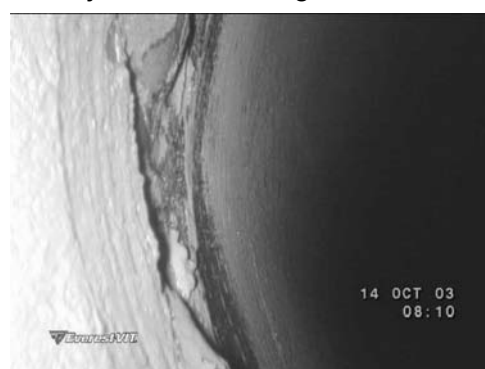
**Figure 16.** Macro section of one of the typical welded joints nozzle to header and typical end crater defects excepted after welding martensitic steel

**Slika 16.** Makropreseki jednog tipičnog zavarenog spoja mlaznice (nastavka) sa nosačem i tipične greške u krateru koje se javljaju posle zavarivanja martenzitnog čelika



Slika br: 1 cijev Ø51x5 / Image No:1 tube Ø51x5

Slika br: 2 cijev Ø51x5 / Image No:2 tube Ø51x5



Slika br: 4 cijev Ø51x5 / Image No:4 tube Ø51x5

**Figure 17.** Nozzle to header welded joint: typical technology - geometric defect from root side

**Slika 17.** Zavareni spoj mlaznice i nosača; tipične tehnološko-geometrijske greške sa korene strane



## 6. CONCLUSION

Tendency to produce boiler plants using more and more demanding types of basic materials make welding techniques and all other applicable processes to require adequate responses to these intentions. Therefore, some of the basic processes in the preparation of tube / pipe systems as welding, heat treatment and inspection are very specific. This activities must be the object of analysis from the beginning of production planning with regards to the applicability and ability to satisfy the requirements of project.

Analyses relate primarily to the qualification of processes and personnel, existing appropriate equipment, the possibility of evidence of complete controls over the process and they ensure the traceability of all related operations.

TIG welding process, especially mechanized is dominant in the preparation of tube / pipe systems. NDT and indirect visual controls including training of operators for this method are integral part of a complete quality assurance in production.

## 7. LITERATURE

[1] Marsenić T, Despotović B, Birač D, Oblici spojeva za kružno / orbitalno zavarivanje cijevnih sistema, mogućnost automatizacije procesa zavarivanja, Zbornik SBZ 2009, 205-212, Slavonski Brod

[2] Technical documentation of factory ĐĐ TEP, Slavonski Brod, Croatia

## 6. ZAKLJUČAK

Tendencija proizvodnje kotlovskih postrojenja koristi više i zahtevnije vrste osnovnih materijala koji traže od tehnike zavarivanja i svih drugih primenjenih procesa adekvatne odgovore. Stoga, neki od osnovnih procesa u pripremi sistema malih cevi / velikih cevi kao zavarivanje, termička obrada i inspekcija su vrlo specifični. Ove aktivnosti moraju biti predmet analize od početka planiranja proizvodnje u odnosu na primenljivost i sposobnost zadovoljenja zahteva projekta.

Analize se odnose prvenstveno na kvalifikacije procesa i osoblja, postojeće odgovarajuće opreme, mogućnost dokazivanja potpune kontrole nad procesom i osiguranja praćenja svih povezanih operacija.

TIG postupak zavarivanja, posebno mehanizovani je dominantan u pripremi sistema malih cevi / velikih cevi.

IBR i indirektno vizuelne kontrole uključujući obuku operatera za ovu metodu su sastavni deo kompletnog obezbeđenja kvaliteta u proizvodnji.

## 7. LITERATURA

[3] Technical documentation of orbital TIG welding device, Magnatech, USA, Fronius, Austrija

[4] Lukkari, J: Orbital TIG a great way to joint pipes, Esab welding and cutting journal, Svetsaren, 1/2005

## NOVA PUBLIKACIJA

Početak leta je izašla iz štampe monografija sa naslovom „SAVREMENI POSTUPCI NAVARIVANJA“ autora dr Nikole Bajića, dipl.inž.met. i dr Zorana Karastojkovića, dipl.inž.met. Izdavač je IHIS Techno experts, u tiražu 500 primeraka, sa 235 stranica. Publikacija je podeljena u 8 poglavlja i to: 1. Uvod, 2. Razlozi za navarivanjem, 3. Metalurške pojave pri navarivanju, 4. Materijali za navarivanje, 5. Savremeni postupci navarivanja, 6. Pristup navarivanju, 7. Tehnologije i postupci navarivanja i 8. Zaštita pri navarivanju.

Monografiju je finansijski podržalo Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.



Radimir Jovičić<sup>1</sup>, Radica Prokić Cvetković<sup>2</sup>, Olivera Popović<sup>2</sup>, Nenad Milošević<sup>2</sup>

## METODE ZA IZRAČUNAVANJE TEMPERATURA PREDGREVANJA PRI ZAVARIVANJU ČELIKA POVIŠENE I VISOKE ČVRSTOĆE METHODS FOR CALCULATING THE PREHEAT TEMPERATURE WELDING THE HIGH STRENGTH STEELS

**Originalni naučni rad / Original scientific paper**

**Rad primljen / Paper received:**

Septembar 2016.

Rad je u izvornom obliku objavljen u Zborniku sa savetovanja „ZAVARIVANJE 2016“ održanog na Srebrnom jezeru 14-17. Septembra 2016

**Ključne reči:** metode za proračun temperatura predgrevanja, vreme hlađenja  $t_{8/5}$ , čelici

**Adresa autora / Author's address:**

<sup>1</sup> Inovacioni centar Mašinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu, Srbija [rjovicic@mas.bg.ac.rs](mailto:rjovicic@mas.bg.ac.rs)

<sup>2</sup>Mašinski fakultet, Univerziteta u Beogradu, Srbija

**Key words:** methods for calculation of preheating temperature, cooling time  $t_{8/5}$ , steels

**Abstract:** With preheating of steel the cooling speed of a heat affected zone decreases, which prevents appearance of structure prone to cold cracks. On the other hand, too small cooling speed, in this area, results with growth the metal grains which, also, leads as to the higher prone to cracks. Common used method for calculation of preheating temperature for high strength steels are Itto – Bessyo method, and method by standard SRPS EN 1011-2. This paper presents the methods for calculating the preheating temperature of micro alloyed steel P460 NL1. Analysis of the results obtained from both methods shows significant differences in the amounts calculated preheat temperature. It was concluded that both methods have limitations that must be taken into account in their application in practice.

### UVOD

Predgrevanje čelika povišenih i visokih čvrstoća pred zavarivanje ima višestruki pozitivni uticaj na osobine njihovih zavarenih spojeva [1]. Predgrevanje usporava hlađenje zavarenih spojeva zbog čega se u metalu šava (MŠ) i naročito u zoni uticaja toplote (ZUT) dobijaju strukture koje su manje sklone zakaljivanju, stvaraju se pogodni uslovi za oslobađanje gasova iz MŠ, čime se smanjuje verovatnoća pojave poroznosti i smanjuje se količina rastvorenih gasova u MŠ i ZUT, što je naročito važno kada je u pitanju vodonik. Takođe, zbog smanjenja temperaturnog gradijenta, smanjuju se zaostali naponi. Sve ovo povoljno utiče na smanjenje sklonosti zavarenih spojeva ka pojavi hladnih prslina.

Predgrevanje može da ima i negativan uticaj na osobine zavarenih spojeva, zato što može da poveća njihovu sklonost ka pojavi toplih prslina [1], može da dovede do širenja ZUT, do širenja

**Rezime:** Predgrevanjem čelika se smanjuje brzina hlađenja zone uticaja toplote, čime se izbegava pojava struktura sklonih nastanku hladnih prslina. Sa druge strane suviše mala brzina hlađenja, u ovoj zoni, dovodi do porasta metalnog zrna što, takođe, ima za posledicu povećanje sklonosti ka nastanku prslina. Za izračunavanje temperatura predgrevanja čelika povišenih i visokih čvrstoća koriste se metode Itto – Bessyo i metoda data u standardu SRPS EN 1011-2. U radu su navedene metode primenjene na izračunavanje temperature predgrevanja mikrolegiranog čelika P460 NL1. Analiza rezultata proračuna po obe metode pokazuje značajne razlike u visini izračunatih temperatura predgrevanja. Zaključeno je da obe metode imaju ograničenja, koja se moraju imati u vidu pri njihovoj primeni u praksi.

krupnoznožnog dela ZUT i do rasta zrna u ZUT, što ima za posledicu pad mehaničkih osobina i žilavosti u ovom delu spoja [2]. Predgrevanje i održavanje međuprolazne temperature usporavaju i poskupljuju izradu zavarenih konstrukcija. Zbog toga proizvođači čelika razvijaju nove generacije čelika povišene i visoke čvrstoće kod kojih se temperature predgrevanja snižavaju ili predgrevanje uopšte nije potrebno.

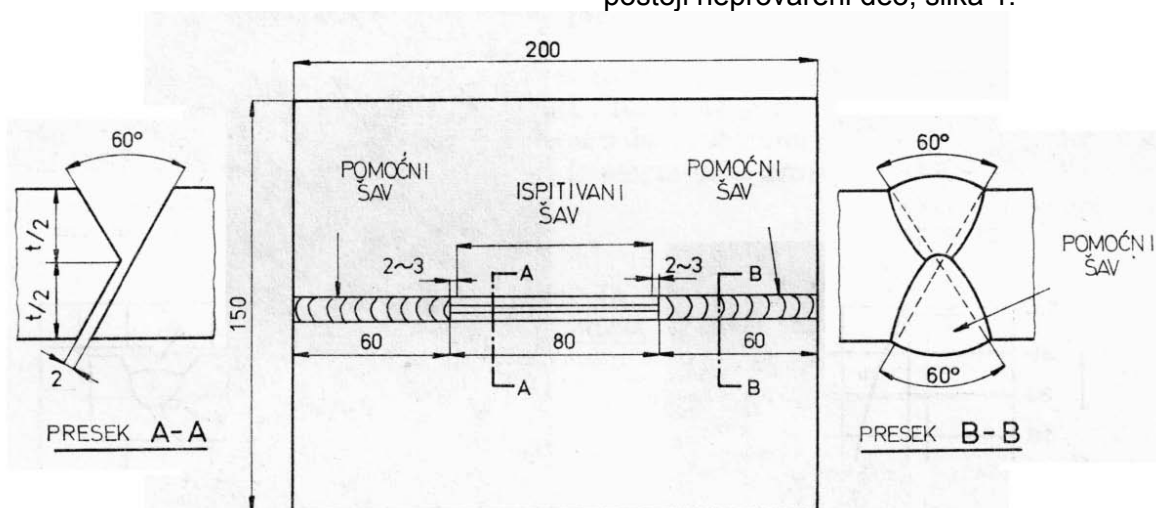
Da bi zavareni spojevi imali osobine koje odgovaraju uslovima eksploatacije, moraju se temperature predgrevanja i međuprolazne temperature, održavati u optimalnom području. Na visinu potrebne temperature predgrevanja i međuprolazne temperature utiču hemijski sastav i mikrostruktura čelika, njegove fizičke osobine, dimenzije i oblik spoja, izabrani postupak zavarivanja, parametri zavarivanja, ambijentalni uslovi itd. Uticaj ovih parametara na visine



navedenih temperatura je definisan različitim računskim metodama. Za izračunavanje temperatura predgrevanja ( $T_p$ ) čelika povišenih i visokih čvrstoća razvijene su metode Itto Bessyo (IB) [1] i metoda definisana u standardu EN 1011-2 (EN) [3].

## 2. METODA ITTO BESSYO

Ova metoda je razvijena na osnovu rezultata ispitivanja Tekken proba [1]. Tekken proba je namenjena za ispitivanje zavarljivosti čelika tj. služi za ispitivanje sklonosti OM i MŠ ka pojavi hladnih prslina pri različitim uslovima zavarivanja. Za Tekken probu je karakteristično da je: dužina ispitivanog šava relativno mala (80 mm), da ispitivani šav očvršćava u uslovima potpuno sprečenog skupljanja i da u korenom delu šava postoji neprovareni deo, slika 1.



Slika 1. Uzorak za ispitivanje sklonosti ka pojavi prslina metodom Tekken

Navedeni uslovi pogoduju pojavi prslina u zavarenom spoju. Mala dužina ispitivanog šava onemogućava povećanje temperature OM usled zagrevanja toplotom, koju oslobađa električni luk. Zbog toga na brzinu hlađenja ZUT tj. vreme hlađenja  $t_{8/5}$  utiče samo toplota uneta predgrevanjem. Pomoćni šavovi onemogućavaju poprečno skupljanje ispitivanog šava zbog čega u njemu, tokom hlađenja, nastaju veliki naponi. Dalje povećanje napona izaziva neprovareni deo u korenu šava. Cilj ispitivanja Tekken metodom je pronalaženje parametara zavarivanja pri kojima se prslina u zavarenom spoju neće pojaviti.

Na osnovu rezultata ispitivanja po Tekken metodi Itto i Bessyo (IB) su izveli empirijske jednačine na osnovu kojih se izračunava  $T_p$ , tabela 1. Metoda IB uzima u obzir hemijski sastav OM, sadržaj difundovanog vodonika i veličinu napona koji deluju na spoj tokom njegovog očvršćavanja. Mala dužina ispitivanog šava, kod Tekken probe, onemogućava da se uoči efekat povećanja temperature OM uz ivicu žleba, zbog zagrevanja toplotom električnog luka. Ovaj efekat se uočava kod dužih spojeva i ima za posledicu produženje vremena hlađenja  $t_{8/5}$  u ZUT.

	Jednačine	Parametri
1	$T_p = 1440 P_w - 392$	$P_w$ – parametar prskanja
2	$P_w = P_{CM} + H/60 + K/40 \cdot 10^4$	$P_{CM}$ – parametar vezan za hemijski sastav čelika H – količina difundovanog vodonika ml/100gr MŠ K – intenzitet ukrućenja
3	$P_{CM} = C + Si/30 + (Mn + Cu + Cr)/20 + Ni/60 + (Mo + V)/15 + 5 B$	% - udeo hemijskih elemenata
4	$K = 1352 d - 14,75 d^2$	d – debljina OM u mm (u slučaju jačeg ukrućenja)
5	$d/600$	(zamenjuje ceo treći član u jednačini (2) u slučaju blažeg ukrućenja)

Tabela 1. Jednačine i parametri za izračunavanje temperatura predgrevanja  $T_p$  po metodi Itto – Bessyo



### 3. METODA PO STANDARDU EN 1011 – 2

Metoda obuhvata uticaj hemijskog sastava i debljine OM, uticaj sadržaja difundovanog vodonika HD i uticaj unosa toplote Q,

pri zavarivanju na  $T_p$  [3]. Temperatura predgrevanja  $T_p$  se izračunava iz zbira temperatura predgrevanja, koje su posledica uticaja pojedinačnih navedenih faktora, tabela 2.

	Jednačine	Parametri
1	$T_{pCET} = 750 \cdot CET - 150$	CET – ekvivalent ugljenika
2	$CET = C + (Mn + Mo)/10 + (Cr + Cu)/20 + Ni/40$ (%)	% - udeo hemijskih elemenata
3	$T_{pd} = 160 \cdot \tanh(d/35) - 110$	d – debljina OM mm
4	$T_{pHD} = 62 \cdot HD^{0,35} - 100$	HD – sadržaj difundovanog vodonika ml/100 gr
5	$T_{pQ} = (53 \cdot CET - 32) Q - 53 \cdot CET + 32$	Q - količina unete toplote KJ/mm
6	$T_p = T_{pCET} + T_{pd} + T_{pHD} + T_{pQ}$	

**Tabela 2.** Jednačine i parametri za izračunavanje temperatura predgrevanja  $T_p$  po metodi datoj u standardu EN 1011 – 2

### 4. PRORAČUN TEMPERATURA PREDGREVANJA I VREMENA HLAĐENJA $t_{8/5}$

Navedene metode za proračun  $T_p$  primenjene su na sučeoni spoj zavaren na čeliku P

460 NL1, debljine 14 mm. Hemijski sastav čelika je određen spektralnom analizom i dat je u tabeli 3.

Element	C	Si	Mn	P	S	Al	Cr	Ni
%	0,153	0,380	1,40	0,015	0,0021	0,031	0,037	0,630
Element	Mo	Cu	V	Nb	Ti	B	N	-
%	0,004	0,061	0,099	0,038	0,004	0,0003	0,0052	

**Tabela 3.** Hemijski sastav osnovnog materijala, P 460 NL1

Spoj je zavaren MIG postupkom. Kao dodatni materijal korišćena je puna žica VAC 65 (AWS ER 70S-6) prečnika 1,2 mm (proizvođač Elektrode Jesenice). Kao zaštitni gas korišćena je mešavina Ar + 5,9% CO<sub>2</sub> + 1,1% O<sub>2</sub>. Zavarivanje je izvedeno na uređaju Kemppi FastMig 350 Pulse, sa dodavačem FastMig MXF 65. Zavaren je spoj dužine 500 mm. Tokom zavarivanja kontinualno su snimani parametri zavarivanja pomoću uređaja Kemppi ARC I.

#### 4.1. Proračun temperature predgrevanja $T_p$ po metodi Itto – Bessyo

Podaci potrebni za proračun  $T_p$  i izračunate vrednosti  $T_p$  za navedeni spoj, po metodi IB, su dati u tabeli 4. Parametar  $P_{CM}$  je izračunat na osnovu jednačine (3), tabela 1. i podataka datih u tabeli 3. Parametar  $P_W$  je izračunat na osnovu jednačine (2), tabela 1. i sadržaja difundovanog vodonika od 5 ml/100gr MŠ [4] i jednačina za dva različita intenziteta ukrućenja, za jače ukrućene spojeve, jednačina (4), tabela 1. i blaže ukrućene spojeve jednačina (5), tabela 1. [5]. Debljina OM je 14 mm. Iz tabele se vidi da povećanje intenziteta ukrućenja tj. ometanja skupljanja spojeva pri hlađenju povećava potrebnu  $T_p$ .

Intenzitet krutosti	$P_{CM}$ (-)	Treći član jednačine (2)	$P_W$ (-)	$T_p$ (°C)
d/600	0,261	0,023	0,367	137
$K = 1352d - 14,75d^2$	0,261	0,040	0,384	161

**Tabela 4.** Temperature predgrevanja  $T_p$  izračunate po metodi Itto – Bessyo



## 4.2. Proračun temperature predgrevanja $T_p$ po metodi datoj u standardu EN 1011 – 2

Podaci potrebni za proračun  $T_p$  i izračunata vrednost  $T_p$  za navedeni spoj, po ovoj metodi su dati u tabeli 5. Parametar CET je izračunat na osnovu jednačine (2), tabela 2. i podataka datih u tabeli 3. Parametri  $T_{pCET}$ ,  $T_{pd}$  i  $T_{pHD}$  su izračunati na osnovu jednačina iz tabele 2. i na osnovu debljine OM od 14 mm i sadržaja difundovanog vodonika od 5 ml/100gr MŠ. Parametar  $T_{pQ}$  je izračunat na osnovu jednačine (5), tabela 2. i količine unete

toplote od 1,25 KJ/mm. Količina unete toplote je izračunata iz jednačine:  $Q = \eta \cdot I \cdot U / (v_z \cdot 1000)$  [KJ/mm]; gde su:  $\eta$  – koeficijent termičkog iskorišćenja za MIG postupak 0,8;  $I$  – jačina stuje zavarivanja A;  $U$  – napon zavarivanja V;  $v_z$  – brzina zavarivanja mm/sec. Parametri za zavarivanje korenog prolaza i prolaza popune navedenog spoja su dati u tabeli 6. Iz tabele 5. se vidi da se, zbog različitih količina unete toplote, parametar  $T_{pQ}$  razlikuje za koreni i prolaze popune. Zato se razlikuju  $T_p$  i međuprolazne temperature, ali ne značajno.

		Jednačine	Parametri	Temp. °C
1	$T_{pCET}$	$T_{pCET} = 750 \cdot CET - 150$	$CET = 0,314$	+ 85,5
2	$T_{pd}$	$T_{pd} = 160 \cdot \tanh(d/35) - 110$	$d = 14 \text{ mm}$	- 49,2
3	$T_{pHD}$	$T_{pHD} = 62 \cdot HD^{0,35} - 100$	$HD = 5 \text{ ml/100 gr}$	+ 3,7
4	$T_{pQ}$ - koren	$T_{pQ} = (53 \cdot CET - 32) Q - 53 \cdot CET + 32$	$Q = 1,25 \text{ KJ/mm}$	- 3,8
5	<b><math>T_p</math> - koren</b>	$T_p = T_{pCET} + T_{pd} + T_{pHD} + T_{pQ}$	-	<b>36,2</b>
6	$T_{pQ}$ - popuna	$T_{pQ} = (53 \cdot CET - 32) Q - 53 \cdot CET + 32$	$Q = 1,31 \text{ KJ/mm}$	- 4,5
7	<b><math>T_p</math> - popuna</b>	$T_p = T_{pCET} + T_{pd} + T_{pHD} + T_{pQ}$	-	<b>35,5</b>

**Tabela 5.** Proračun temperature predgrevanja  $T_p$  po metodi datoj u standardu EN 1011 – 2

## 4.3. Proračun vremena hlađenja $t_{8/5}$

Uticao brzine, odnosno, vremena hlađenja  $t_{8/5}$  na osobine MŠ i ZUT je objašnjen u literaturi [2, 5, 6] i u tački 1. ovog rada. Preporučena vremena hlađenja  $t_{8/5}$ , za niskougljenične čelike se kreću u intervalima 10 - 25 sec. [3], 5 - 20 sec. [7] i 15 sec [2]. Razlike u preporučenim vremenima hlađenja su posledica razlika u hemijskim sastavima i mikrostrukturama ispitivanih OM. Za potrebe ovog rada, kao optimalan, usvojen je raspon vremena hlađenja  $t_{8/5}$  od 10 do 20 sec. Postupak za određivanje vremena hlađenja  $t_{8/5}$  je opisan u literaturi [3]. Prvi korak u proračunu je određivanje prelazne debljine OM pri kojoj se odvođenje toplote menja iz dvodimenzionalnog u trodimenzionalno. Ukoliko je debljina OM, u konkretnom slučaju, manja od prelazne debljine odvođenje toplote je dvodimenzionalno, a ukoliko je ta debljina veća odvođenje toplote je trodimenzionalno. Parametri za određivanje načina

odvođenja toplote su debljina OM,  $T_p$  i  $Q$ . Za uslove zavarivanja korenog prolaza i prolaza popune, u razmatranom primeru, se iz literature [3] vidi da prelazna debljina iznosi 18 mm. S obzirom da je debljina OM manja od prelazne debljine, u konkretnom slučaju se radi o dvodimenzionalnom odvođenju toplote.

Jednačina za određivanje vremena hlađenja  $t_{8/5}$  za nelegirane i niskolegirane čelike, pri dvodimenzionalnom odvođenju toplote je data u literaturi [3] i glasi:

$$t_{8/5} = (4300 - 4,3 T_p) \cdot 10^5 \cdot Q^2 / d^2 \cdot [1 / (500 - T_p)^2 - 1 / (800 - T_p)^2] \cdot F_2 \text{ sec} \quad (1)$$

gde su:  $T_p$  – temperatura predgrevanja °C;  $Q$  – količina toplote unete pri zavarivanju KJ/mm;  $d$  – debljina OM mm;  $F_2$  – faktor oblika spoja (0,9 za višeprolazni sučeoni spoj). Vremena hlađenja  $t_{8/5}$  izračunata za uslove zavarivanja korenog prolaza i prolaza popune, za različite  $T_p$  su data u tabeli 6.

		$T_p$ °C	I A	U V	$v_z$ cm/min	$v_z$ mm/sec	Q KJ/mm	$t_{8/5}$ sec
1	Proračun $T_p$ po metodi Itto Bessyo manje ukrućen spoj	137	130	16,0	8,0	1,33	1,25	14,2
2	Proračun $T_p$ po metodi Itto Bessyo više ukrućen spoj	161	130	16,0	8,0	1,33	1,25	16,2
3	Proračun $T_p$ za koreni prolaz po metodi datoj u standardu EN 1011	36	130	16,0	8,0	1,33	1,25	8,7
4	Proračun $T_p$ za prolaze popune po metodi datoj u standardu EN 1011	36	230	30,0	25,0	4,17	1,32	9,8

**Tabela 6.** Parametri zavarivanja korenog prolaza, prolaza popune i vremena hlađenja  $t_{8/5}$  za različite temperature predgrevanja  $T_p$



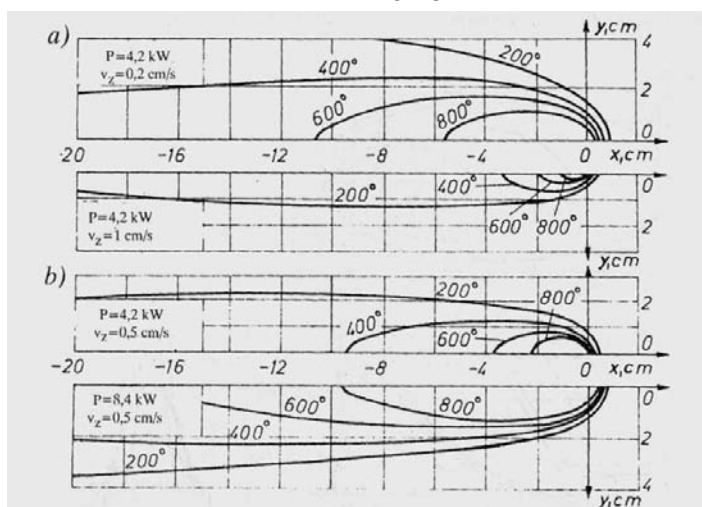
Iz tabele 6. se vidi da su vremena hlađenja  $t_{8/5}$  koja odgovaraju  $T_p$  izračunatim po metodi IB znatno duža od vremena hlađenja koje odgovaraju  $T_p$  izračunatoj po metodi EN. Vremena hlađenja po metodi IB odgovaraju vremenima hlađenja preporučenim za čelik P 460 NL1 i navedeni spoj. Vremena hlađenja određena po metodi EN su manja od preporučenih, što navodi na zaključak da je, u ovom slučaju, potrebno povećati  $T_p$ .

## 5. OPŠTE KARAKTERISTIKE TOPLOTNOG CIKLUSA ZAVARIVANJA

Rasprostriranje toplote u OM, pri zagrevanju toplotom električnog luka, je prikazano na slici 3. [8]. Sa slike se vidi da se raspored temperatura i oblik temperaturnih polja menjaju pri različitim snagama i različitim brzinama kretanja luka. Sa slike se vidi i da se temperatura OM levo i desno i ispred tačke u kojoj se luk trenutno nalazi povećava i to utoliko više ukoliko je snaga luka veća, a brzina njegovog kretanja manja. Slika 3. se odnosi na uslove stacionarnog prenosa toplote tj. na uslove u kojima je količina toplote koju luk preda OM jednaka količini toplote koja se odvede u OM i okolinu. U tim uslovima je razlika u temperaturama ivice žleba i OM, duž šava konstantna, zbog čega

je brzina hlađenja ZUT konstantna, pa se vreme hlađenja  $t_{8/5}$  ne menja duž spoja.

Zagrevanje OM toplotom luka, na vreme hlađenja  $t_{8/5}$ , ima isti uticaj kao povećanje  $T_p$ . Ako je ivica žleba predgrejana do optimalne temperature  $T_{op}$  tj. temperature koja obezbeđuje potrebno vreme hlađenja  $t_{8/5}$ , onda dodatno zagrevanje toplotom luka povećava temperaturu ivice žleba, produžava vreme hlađenja  $t_{8/5}$  i može dovesti do toga da ono bude predugo za zavarivani čelik. Prema tome, pri stacionarnim uslovima prenosa toplote, početna  $T_p$  spoja treba da bude manja od optimalne temperature  $T_{op}$ , jer se temperatura ivice žleba povećava zbog zagrevanja toplotom luka. Slika 3. pokazuje da su temperature ivice žleba u tački u kojoj se luk trenutno nalazi različite i da zavise od snage luka i brzine zavarivanja. Osim toga ove temperature zavise i od oblika i dimenzija žleba, toplotnih karakteristika OM, odabranog postupka zavarivanja, temperature predgrevanja itd. Pošto je povećanje temperature ivice žleba, usled zagrevanja toplotom luka teško precizno odrediti, da bi se utvrdilo da li je određeni spoj zavaren pri optimalnim vremenima hlađenja  $t_{8/5}$  potrebna su naknadna ispitivanja ZUT, npr. mikrostrukturna ispitivanja, merenja tvrdoća i ispitivanje žilavosti loma.



**Slika 3.** Raspored temperatura u OM usled zagrevanja toplotom električnog luka, pri različitim parametrima zavarivanja

Na počecima zavarenih spojeva vladaju nestacionarni uslovi prenosa toplote. Osnovni materijal je hladniji nego na delu spoja gde vladaju stacionarni uslovi. Zbog toga je na počecima spojeva brzina hlađenja ZUT veća, a vreme hlađenja  $t_{8/5}$  kraće nego na delovima spojeva gde vladaju stacionarni uslovi prenosa toplote. Sa povećanjem dužine spoja, luk predaje sve veću količinu toplote OM, zbog čega raste njegova temperatura, a vreme hlađenja  $t_{8/5}$  se produžava i na kraju dostiže veličinu koju ima pri stacionarnim

uslovima. Na deonici zavarenog spoja na kojoj vladaju nestacionarni uslovi prenosa toplote, presudan uticaj na temperaturu ivice žleba i na vreme hlađenja  $t_{8/5}$  ima predgrevanje. Dužinu spoja na kojoj vladaju nestacionarni uslovi prenosa toplote je teško odrediti. Ona zavisi od napred navedenih faktora. Iskustvo pokazuje da deonce spojeva na kojima vladaju nestacionarni uslovi prenosa toplote mogu imati dužine od 50 pa do 300 mm.



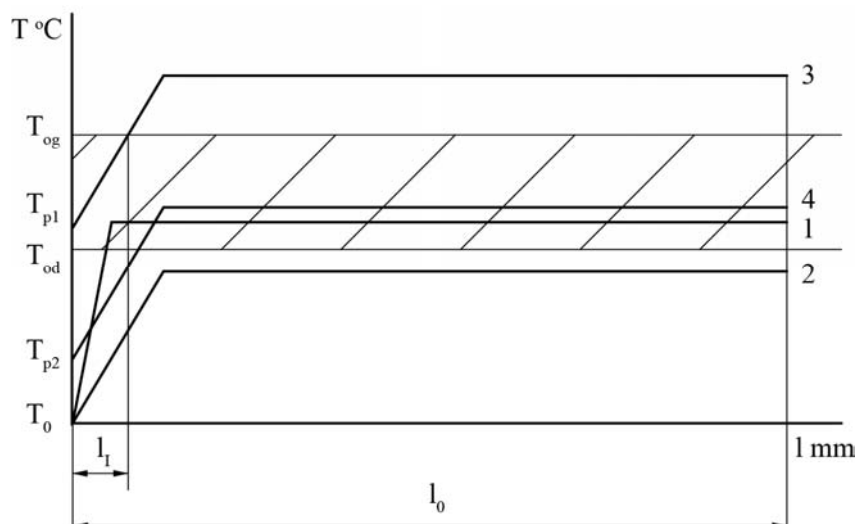
## 6. OGRANIČENJA U PRIMENI METODA ZA IZRAČUNAVANJE TEMPERATURA PREDGREVANJA

Slika 4. prikazuje promene temperatura duž ivica žleba pri različitim  $T_p$ . Temperature  $T_{od}$  i  $T_{og}$  predstavljaju donju i gornju optimalnu temperaturu koje, prema jednačini (1) za datu debljinu i količinu unete toplote, odgovaraju minimalnom, odnosno maksimalnom dozvoljenom vremenu hlađenja  $t_{8/5}$  (u ovom slučaju 10 – 20 sec). Ove temperature predstavljaju granice optimalnog temperaturnog područja u kome treba da se nađu ivice žleba tokom zavarivanja da bi ZUT imala odgovarajuće osobine.

Kriva 1. na slici 4. se odnosi na promenu temperature duž ivice žleba, čelika koji je zavaren bez predgrevanja. Početna temperatura čelika  $T_0$  odgovara ambijentalnoj temperaturi. Sa povećanjem dužine spoja raste temperatura OM uz ivice žleba, dok se ne dostignu stacionarni uslovi. Sa daljim povećanjem dužine spoja temperatura OM uz ivice žleba se ne menja. Kod tanjih materijala količina unete toplote je, obično dovoljna da poveća temperaturu OM preko  $T_{od}$  (linija 1) i

tada predgrevanje OM nije potrebno, a spoj se većim delom nalazi u oblasti optimalnih temperatura. Kod debljih materijala količina unete toplote obično nije dovoljna da zagreje ivice žleba preko  $T_{od}$  (linija 2). Slika 4. pokazuje da je u ovom slučaju temperatura OM uz ivice žleba manja od potrebne celom dužinom spoja.

Zbog toga je potrebno predgrevanje OM. Kriva 3. prikazuje promenu temperature duž spoja kada je  $T_{p1}$  nešto veća od  $T_{od}$ . Kao i u prethodnom slučaju sa povećanjem dužine spoja raste temperatura OM uz ivice žleba, dok se ne dostignu stacionarni uslovi. Sa daljim povećanjem dužine spoja, temperatura OM se ne menja. Slika 4. pokazuje da se, u ovom slučaju, samo deo spoja dužine  $l_1$  nalazi u području optimalnih temperatura. Najveći deo spoja se nalazi van optimalnog područja tj. nalazi se u području previsokih temperatura. Spuštanjem  $T_p$  na  $T_{p2}$  tj. spuštanjem  $T_p$  ispod  $T_{od}$  spušta se cela kriva i na taj način se spoj skoro celom dužinom dovodi u optimalno temperaturno područje, kriva 4. Tada se samo jedan manji deo, na početku spoja, nalazi u području nedovoljnih temperatura predgrevanja.



**Slika 4.** Promene temperatura duž ivica žleba pri različitim temperaturama predgrevanja

Proračun prema metodi IB daje  $T_p$  koja je jednaka ili je nešto veća od  $T_{od}$ , kriva 3. na slici 4. Sa slike se vidi da će se, u ovom slučaju, u području optimalnih temperatura naći samo deo spoja, dužine  $l_1$ . Ako su spojevi koje zavarujemo kraći od  $l_1$ , npr. spojevi na priključcima posuda pod pritiskom (PPP) manjih prečnika, mesta sanacija grešaka u zavarenim spojevima, pripoji i sl., onda se oni celom dužinom nalaze u optimalnom temperaturnom području, pa metoda IB daje odgovarajuću  $T_p$ . U praksi su spojevi najčešće duži

od  $l_1$ . Ovi spojevi se većim delom nalaze van područja optimalnih temperatura, pa za njih proračun po metodi IB ne daje odgovarajuću  $T_p$ . Snižavanjem  $T_p$  kriva raspodele temperatura duž spoja se spušta i većim delom uvodi u područje optimalnih temperatura. Proračun  $T_p$  sa sniženom temperaturom u odnosu na  $T_{od}$  daje metoda EN. Međutim, u ovom slučaju se, jedan kraći deo spoja, na njegovom početku, nalazi ispod temperature koja definiše minimalno dozvoljeno vreme hlađenja  $t_{8/5}$ , zbog čega se, u ovom delu spoja, neće dobiti



zadovoljavajuća struktura u ZUT. Zato ova metoda nije pogodna za proračunavanje  $T_p$  kratkih spojeva.

Na visinu potrebne  $T_p$  utiče i intenzitet ukrućenosti spoja tokom njegovog hlađenja. Sa porastom stepena ukrućenosti raste potrebna  $T_p$ . Metoda IB, zbog načina na koji je koncipirana Tekken metoda, u znatnoj meri uzima u obzir uticaj ometenog skupljanja na visinu  $T_p$ . Promenama člana koji se odnosi na intenzitet napona u jednačini (2), tabela 1. i promenom faktora intenziteta napona  $K$  mogu se obuhvatiti različite situacije ometenog skupljanja pri hlađenju spojeva. Npr. na jednoj PPP ometanje skupljanja pri hlađenju nakon zavarivanja neće biti isto na kružnim i podužnim spojevima na omotaču, na spojevima priključaka i na delovima spojeva na kojima se zavarivanjem otklanjaju neprihvatljive greške. U poslednjem slučaju ometanje skupljanja MŠ pri hlađenju je najveće, što ima za posledicu najveće napone koji deluju na šav tokom hlađenja. Da bi se smanjila sklonost ka pojavi prslina u ovom spoju mora se povećati  $T_p$ . I metoda EN, preko debljine OM, uzima u obzir uticaj napona koji deluju na spoj tokom očvršćavanja. Međutim, mogućnosti metode EN u tom pogledu su manje od mogućnosti koje pruža metoda IB.

## 7. ZAKLJUČCI

Proračun temperature predgrevanja po metodi EN, daje na početku spoja temperaturu, koja je nedovoljna da vreme hlađenja  $t_{8/5}$  bude veće od minimalnog potrebnog za dati OM. To ima za posledicu da se u ZUT kratkih spojeva dobiju neodgovarajuće strukture. Kod dužih spojeva se na početnom delu spoja pojavljuje isti problem, ali se sa porastom dužine spoja usled zagrevanja toplotom luka, temperatura ivice žleba povećava, zbog čega se vreme hlađenja  $t_{8/5}$  produžava i na ostatku spoja se dobijaju optimalne strukture u ZUT. Propračun po metodi Itto - Bessyo daje temperaturu predgrevanja koja, na početku spoja obezbeđuje dovoljno visoku temperaturu, da vreme hlađenja  $t_{8/5}$  bude veće od minimalnog potrebnog za dati OM. Zbog toga se, kod kratkih spojeva, u ZUT dobiju odgovarajuće strukture. Sa porastom dužine spoja, usled zagrevanja toplotom luka raste temperatura ivice žleba, vreme hlađenja  $t_{8/5}$  se produžava i može postati duže od maksimalno dozvoljenog za dati OM, što ima za posledicu neodgovarajuće strukture u ZUT ovog dela spoja.

Na visinu potrebne  $T_p$  utiču i naponi koji deluju na spoj tokom njegovog hlađenja. Što je više ometeno skupljanje spoja tj. što je spoj više

ukrućen, na njega deluju veći naponi i veća je njegova sklonost ka nastanku prslina. Metoda EN uzima u obzir ukrućenost spoja preko debljine OM, dok metoda IB omogućava da se promenom intenziteta ukrućenja  $K$  uzmu u obzir i drugi faktori npr. oblik spoja. Naponi i sklonost ka nastanku prslina se smanjuju povećanjem temperature predgrevanja. U praksi je uočeno da se, pri izradi tehnologija zavarivanja, za sanacije grešaka u zavarenim spojevima, za izračunavanje temperatura predgrevanja koristi metoda po standardu EN. Greške u zavarenim spojevima i naročito prslina otkrivene pri eksploatacijskim ispitivanjima zavarenih konstrukcija obično nemaju velike dužine. One se kreću od nekoliko desetina do par stotina milimetara. Uslovi koji vladaju pri sanaciji grešaka u spojevima, zavarivanjem su: dužine spojeva su male, spojevi se hlade u uslovima ometenog skupljanja i masa spojeva je mala, zbog čega se oni brzo hlade. Jednačine za određivanje temperature predgrevanja po metodi Itto – Bessyo su definisane u sličnim uslovima. Zbog toga je metoda Itto – Bessyo pogodnija za izračunavanje temperature predgrevanja pri sanaciji grešaka u zavarenim spojevima.

Ovo istraživanje je nastalo u okviru nacionalnog projekta TR35024 finansiranog od strane Ministarstva za obrazovanje, nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije.

## LITERATURA

- [1] I. Hrivnjak: *Zavarljivost čelika*, Građevinska knjiga, Beograd, 1982.
- [2] K. Gerić: *Prslina u zavarenim spojevima*, Monografija, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2005.
- [3] Standard EN 1011 – 2/2007: *Zavarivanje – Preporuke za zavarivanje metalnih materijala – Deo 2: Elektrolučno zavarivanje feritnih čelika*
- [4] B. Bajić: *Elektrolučno zavarivanje u zaštiti inertnog i aktivnog gasa MIG-MAG*, Gorenje – Varstroj, Lendava, 1982.
- [5] H. Granjon: *Metalurške osnove varjenja*, prevod na slovenački P. Štular, Zveza društev za varilno tehniko Slovenije, Ljubljana, 1994.
- [6] K. Easterling: *Introduction to the Physical Metallurgy of Welding*, 1983.
- [7] Ruukki: *Hot rolled steel sheets, plates and coils, Welding general*, Ruukki Metals Oy, Finland, 2014.
- [8] A. Sedmak i dr.: *Mašinski materijali*, II deo, Univerzitet u Beogradu Mašinski fakultet, Beograd, 2000.



## GODIŠNJA SKUPŠTINA MEĐUNARODNOG INSTITUTA ZA ZAVARIVANJE

U periodu od 10-15. jula 2016. godine je održana 69. godišnja skupština Međunarodnog instituta za zavarivanje (MIZ) u Melburnu, Australija. Organizator Skupštine je bio Australijski institut za tehnologiju zavarivanja (AWTI).

Skupština sa pratećim programom (Međunarodna konferencija, izložba, sastanci tehničkih Komisija i radnih grupa) je održana u prelepom i funkcionalnom Kongresnom centru Melburna.

Na Skupštini je bilo prisutno preko 500 učesnika iz preko 40 zemalja članica MIZ i/ili Međunarodne grupe za ovlašćivanje, vezano za obrazovanje kadrova u zavarivanju (IAB Grupe).

Učesnici su bili podeljeni prema svojim obavezama, odnosno ovlašćenjima na delegate generalne skupštine, delegate, eksperte ili posmatrača u radu tehničkih Komisija ili delegate odnosno članove IAB grupe, odnosno radnih grupa A i B u okviru IAB grupe.



Zasedanje 69. godišnje skupštine Međunarodnog instituta za zavarivanje je održano 10.07. 2016. godine u prisustvu delegata 42 zemlje članice, među njima i Srbije. Na skupštinskoj sednici su usvojeni izveštaji o radu svih tela MIZ-a, donete rezolucije i odgovarajući zaključci o daljim aktivnostima, usvojen finansijski izveštaj i plan budžeta za sledeću godinu. Izabran je budući predsednik MIZ-a, za period 2017-2019. godine, gospodin Douglas Luciani inače član kanadske delegacije i dosadašnji člana Borda direktora MIZ-a.

Douglas Luciani novoizabrani predsednik IAW i Dr Vencislav Grabulov

Potvrđeno je da će se Skupština MIZ-a 2017. godine održati u Šangaju (Kina), 2018. godine u Istanbulu (Turska) a 2019. godine u Bratislavi (Slovačka).

Pored sastanaka 17 tehničkih Komisija MIZ-a, održano je i niz sastanaka radnih grupa-podkomisija MIZ-a i to: podkomisija za Fiziku zavarivanja, Strategiju istraživanja i saradnje u zavarivanju, Spajanje i zaštita u vazduhoplovstvu, Automobilski i drumski transport, Brodogradnja, Rukovođenje kvalitetom u zavarivanju i srodnim postupcima, Istraživanje i razvoj mikro i nano tehnologija spajanja, 3 radne grupe (Regionalna saradnja, Standardizacija i Komunikacija i marketing). Organizovane su i stručne ture obilaska zavarivačkih kapaciteta u Melburnu i okolini, kao i poseta fakultetskim laboratorijama koje se bave zavarivanjem i srodnim tehnologijama.

Paralelno su održani i sastanci IAB grupe u čijem okviru su održani sastanci grupe A koja se bavi obrazovanjem, obukom i kvalifikacijom, Grupe B koja se bavi primenom, ovlašćivanjem i sertifikacijom i sastanak delegata zemalja članica IAB grupe kao i Seminar Komisije XIV za obrazovanje (11-14. 07.2016.)

Najznačajnije događanje, pored Skupštine, bila je međunarodna Konferencija: "Radni vek zavarenih komponenti – od koncepta do puštanja u rad".

Konferencija je započela „Hudremon“ predavanjem: "Uloga tehnologija zavarivanja na karakteristike ratnih brodova, prošlost, sadašnjost i budućnost".



Održano je i uvodno predavanje po pozivu: "Principi proračuna preostalog veka odgovornih zavarenih komponenti na povišenim temperaturama". Na 115 usmenih sesija je bilo izloženo 60 radova kao i 4 rada po pozivu.

Tačna statistika o broju delegata, sastavu delegacija i brojnosti kao i o broju prisutnih po raznim osnovama na Godišnjoj skupštini i pratećim manifestacijama nije dostavljena od strane organizatora, što nije jedini propust organizatora.

Treba istaći da su osnovni uslovi za rad bili obezbeđeni na uobičajenom nivou u smislu sale, video bima, prezentacija... Ipak učesnici su bili neprijatno iznenađeni ponudom podrške: prevoz do i od mesta događanja i ponuđenih hotela za smeštaj, nedostatak štampanog materijala za praćenje događaja, slabe organizacije pratećeg programa, nedostatak materijala za pisanje pa sve do loše i skromne organizacije pratećih sadržaja i socijalnog programa. Uobičajeno je da se više očekuje za kotizaciju od preko 110 eura.

I pored toga što su sve radne grupe, Komisije i Komiteti imali uspešan rad u smislu kvalitetnih diskusija i adekvatnih zaključaka (što svakako nije zasluga organizatora), doza nezadovoljstva je ostala kod svih prisutnih jer su se na svakom koraku osećale posledice nepotrebne štednje što je uticalo na efikasnost rada delegata, a neretko predstavljao problem makar u smanjenom komforu i gubitku vremena. Nažalost i anonimna anketa o zadovoljstvu učesnika je izostala, čini se ne slučajno.

U pripremama za 69. Generalnu skupštinu su učestvovali predstavnici Zavoda za zavarivanje kao člana MIZ-a iz Srbije i Društva za unapređvanje zavarivanja u Srbiji (DUZS) kao člana IAB grupe, odnosno DUZ CertPers-a kao Nacionalnog tela za ovlašćivanje u delu aktivnosti za Međunarodne grupe za ovlašćivanje (IAB) i radnih grupa A i B istog tela.

Predstavnik iz Srbije na Godišnjoj skupštini Međunarodnog instituta za zavarivanje je bio dr. Vencislav Grabulov, IWE, sekretar Upravnog Odbora DUZS i izvršni rukovodilac srpskog nacionalnog tela za ovlašćivanje - DUZS CertPers i delegat DUZS CertPers-a u IAB Grupi.



Predstavnik iz Srbije, Dr Vencislav Grabulov

Pored učešća u radu 69. Skupštine MIZ-a, dr Vencislav Grabulov je učestvovao u radu IAB grupe A (11.07.2016.), IAB grupe B (12.07.2016), i Sastanku zemalja članica IAB grupe (13.07.2016.). Pored redovnih aktivnosti u delu obrazovanja, obuke, kvalifikacije, primene pravila i dokumenata, ovlašćivanje i sertifikacija osoba i kompanija nastavljena je žustra diskusija o načinu usaglašavanja dokumenata IAB grupa sa međunarodnim zakonima koji se odnose na sprečavanje konkurencije. U tom delu je postignut napredak ka nalaženju kompromisnog rešenja. Na sastancima Grupe A, posebno je diskutovano o izmenama dokumenta za obrazovanje Međunarodnih inspektora u zavarivanju (IAB 041r6-1016), dokumentu koji treba da definiše ulogu i odgovornosti koordinatora u zavarivanju a u vezi standarda ISO 14731 i o poboljšanju ispitnih pitanja iz Međunarodne baze i njihovoj primeni.

Na sastanku IAB Grupe B nastavljena je diskusija o primeni novih pravila rada članova IAB grupe. Diskutovano je kakav treba da bude Biznis Plan za svako Nacionalno telo za ovlašćivanje kao i ostalih analiza, kao SWOT analiza o prednostima, manama, opasnostima i strahovima u radu nacionalnog tela kao jednog od novih uslova za ocenu kapaciteta nacionalnih tela za rad.

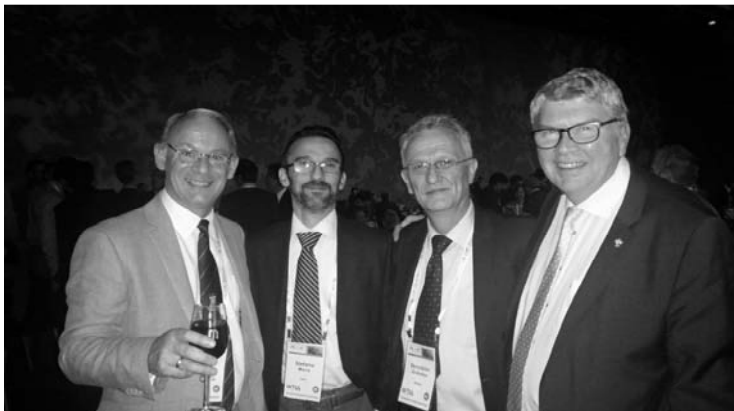


Usvojene su izmene odgovarajućih procedura i dogovoreno je da se izmenjena Pravila primenjuju od 01. avgusta 2016. Međutim, mnoge izmene još uvek nisu dostupne na sajtu što nije prvi slučaj, s obzirom da se više puta pokazalo da se neke izmene formulišu ne baš precizno kako su usvojene na sednicama, već kako su zamislili predlagači iz većine zemalja, kojima odogovaraju izmene, gde svakao ne spadaju Srbija, Rusija, Indija, Kina, Južna Afrika.....!!!

Naš predstavnik je učestvovao i u radu regionalne grupe za saradnju (11.07.2016.), Komisije za obrazovanje (14.07.2016) i međunarodne Konferencije (14-15.07.2016).

Treba pomenuti da je u okviru Grupe za regionalnu saradnju i pored toga što je prepoznat i priznat doprinos Srbije u razvoju regionalne saradnje na prostorima jugoistočne Evrope, pre svega u organizaciji više susreta zvaničnika zavarivačkih asocijacija iz regiona, IIW-a i EWF-a kao i koorganizaciju Regionalnih IIW Konferencija u Temišvaru (2006. i 2015. godine) i Sofiji (2010. godine), još jednom je istaknuta potreba da se u Srbiji organizuje Međunarodna konferencija pod okriljem ove radne grupe (IIW Konferencija ili tzv. kolokvijum o zavarivanju).

Političkim rečnikom izneto, naš predstavnik dr Vencislav Grabulov, je na marginama Skupštine imao više bilateralnih susreta, kao na primer sa novoizabranim predsednikom IIW-a g-dinom Daglasom Lucian-om, predsednikom evropske zavarivačke federacija g-dinom Chris Eddy-em, predsednikom grupe A, Henk Bodt-om, grupe B, Stefano Morra-om kao i sa izvršnim direktorom IIW-a, g-đicom Cecil Mayer i g-dinom Americo Scoti-em iz Brazila. Naravno, sastanci sa predstavnicima delegacija iz regiona se podrazumevaju.



Chris Eady predsednik IIW  
Henk Bodt predsednik IAB, komisije A  
Dr Vencislav Grabulov  
Stefano Morra, predsednik IAB, komisije B



Americo Scotti član Brazilske delegacije  
Dr Cecile Mayer izvršni direktor IIW  
Dr Vencislav Grabulov

Na kraju se može zaključiti da je učešće u radu Godišnjih skupština i radnih grupa, pre svega IAB grupe, korisno i neophodno. Ostaje veliki problem što veoma mali broj aktivista i stručnjaka naše zavarivačke javnosti prati i učestvuje u pripremnom radu na izradi ili dopuni dokumenata IIW-a koji mogu bitno da utiču na naše nacionalne aktivnosti i imaju nesagledive posledice za razvoj i unapređivanje zavarivanja u Srbiji.

Neophodno je da se više stručnjaka i/ili subjekata uključi u praćenje rada IIW-a i EWF-a, blagovremeno, još u fazi pripremnog rada na izradi novih dokumenata ili pravila. U vezi sa tim veoma je značajna i brojnost delegacije iz Srbije na ovakvim manifestacijama, odn. radnim sastancima gde se "kroji sudbina" razvoja zavarivanja u svetu ali i kod nas. Fizičko prisustvo je veoma bitno, jednočlana ili delegacija sastavljena od par članova ne može ni fizički da isprati sva bitna događanja i da prati izmene dokumenata i pravila. Da ne govorimo o potrebi da utiče na promene koje nam često nisu naklonjene.

Dr Vencislav Grabulov dipl.ing.IWE



## NERĐAJUĆI I VATROOTPORNI ČELICI

### -Vrste, karakteristike, zavarivanje-

#### NASTAVAK IZ PREDHODNOG BROJA

#### 2. deo

#### FERITNI ( $\delta$ ) ČELICI

Razlog za razvoj  $\delta$  feritnih čelika je niža proizvodna cena, a ista koroziona otpornost kao čelika legiranih niklom. Kod  $\delta$  feritnih čelika, da bi se postiglo očuvanje žilavosti i deformabilnosti materijala, mora se sprečiti obrazovanje austenita, koji se kod nižih temperatura transformiše u martenzit. Savremeni postupci topljenja čelika omogućavaju proizvodnju FeCr legura koje ne sadrže C i N, koji poput Ni utiču na obrazovanje austenita. Oštro hlađenje iz područja temperatura  $\geq 900^\circ\text{C}$  (npr. kod zavarivanja), za sprečavanje austenitno-martenzitne transformacije, zahteva dalje suženje tolerancija prisustva C i N.

Prema osobinama značajnim za primenu razlikuju se:

- Koroziono i kiselo otporni čelici (Cr čelici + Ni, Mo, Ti i /ili Nb), kao npr. X7Cr13; X7CrMo17-1;
- Vatrootporni i otporni na kovarinu čelici (Cr čelici +Al ili Si), kao npr. X10CrAl24; X10CrSi18.

Prema strukturama razlikuju se:

- poluferitni ( $\delta$ +M),
- potpuno feritni i
- superferitni čelici

Vrste	C (%)	Cr (%)	Ostali legirajući elementi	Struktura	Primeri
Semi ili poluferitni	0,08-0,12	12-17	eventualno stabilizatori Ti, Nb	$\delta$ F+M	X2CrNi12; X6Cr17
Feritni	0,08-0,02	16-26	kod visokog C i nižeg Cr, +Mo, Nb, Ti	$\delta$ F	X3CrTi17; X2CrMoTi18-2
Superferitni	0,03-0,002	24-30	do 4%Mo, 1% Nb ili Ti, 0,4%Si, C+N<0,035	$\delta$ F	X2CrMoTi29-4

**Tabela 6.** Okvirni hemijski sastav feritnih čelika

Kod čelika sa cca 0,06%C i cca 16-18%Cr, uprkos prisustvu legirajućih elemenata koji su stabilizatori ferita, u zavisnosti od šarže mogu se obrazovati strukture zaostalog austenita i martenzita.

#### FIZIČKE OSOBINE I MEHANIČKE OSOBINE

(podužno, u žarenom stanju)

Svi  $\delta$  feritni čelici su magnetični. Toplotna provodljivost i električna otpornost je između nelegiranih i niskolegiranih čelika i austenitnih čelika. Toplotno izduženje i gustina je neznatno ispod nelegiranih konstrukcionih čelika.

Zbog sklonosti ovih čelika da pri polaganom hlađenju nastaju izlučivanja, nemaju dobru deformabilnost. Samo kod tankih poprečnih

preseka (do cca 10 mm) može se računati na dobru duktilnost. Superferitni čelici su nešto bolje deformabilnosti od poluferitnih čelika. Poluferitni čelici mogu poboljšanjem dostići napon tečenja do 600 N/mm<sup>2</sup> (značajno više od austenitnih čelika). Kod temperatura i do 550 °C pokazuju značajno veće vrednosti čvrstoće od austenitnih čelika. Feritni čelici su i toplopostojani. Vremenska čvrstoća kod temperatura većih od 550 °C se značajno smanjuje. Feritni čelici nisu zakaljivi. Sa porastom sadržaja Cr, C i N smanjuje se žilavost feritnih čelika. U opštem slučaju prelazna temperatura je iznad temperature okoline. Superferitni čelici imaju prelaznu temperaturu kod temperatura ispod -50 °C.

Mehaničke osobine	Poluferitni	Feritni (bez transformacije)	Superferitni
$R_{p0,2}$ (N/mm <sup>2</sup> )	210-480	180-300	400-450
$R_m$ (N/mm <sup>2</sup> )	400-750	380-640	550-700
A (%)	25-12	25-20	28-20

**Tabela 7.** Okvirne mehaničke osobine feritnih vrsta čelika

Pored navedenih čelika postoje i čelici sa sadržajem Cr<12%. Oni imaju odgovarajuće

mehaničke osobine, ali im je koroziona otpornost umanjena.



## IZLUČIVANJA/ KRTOST

U feritnim strukturama difuzija protiče 100 -1000 puta brže nego u austenitnim strukturama.

Zato dolazi i relativno do bržeg izlučivanja. Porastom sadržaja Cr pojačava se nastanak sigma faze, a porastom sadržaja Cr i Mo nastaje ksi ( $\chi$ ) faza. Zbog prisustva ovih faza povećava se čvrstoća i tvrdoća, ali opada žilavost. Feritni Cr i CrMo čelici, sa porastom legirajućih elemenata koji stabilizuju ferit (npr. Cr, Mo), između 400-500 °C imaju povećanu tvrdoću, sa jednovremenom pojavom krtosti na 475 °C. Osetljivi su čelici sa sadržajem Cr  $\geq$  17%, dok su čelici sa sadržajem Cr  $\leq$  17 % neosetljivi. Mo pokazuje isti uticaj već kod nižih sadržaja (cca 2-4%). Rastvorljivost C i N u  $\delta$  feritu je smanjena. Zato, ako nema stabilizirajućih elemenata (Ti, Nb, Zr) lako se stvaraju karbidi i nitridi.

Kod temperatura iznad 1000°C strukturno područje  $\delta$  ferita sklono je porastu zrna. Kod vatrootpornih čelika i čelika otpornih na nastanak kovarine, visoki sadržaji Al i Si usporavaju i pomeraju rast zrna ka višim temperaturama.

## SPOSOBNOST ZAVARIVANJA $\delta$ FERITNIH ČELIKA

Za ocenu sposobnosti za zavarivanje  $\delta$  feritnih čelika treba uzeti u obzir sledeće:

- Kod čelika strukture potpuno  $\delta$  ferita nema zakaljivanja; zakaljivanje i nastanak prslina usled zakaljivanja nastaje sa martenzitnom transformacijom kod poluferitnih čelika (granični sadržaj C je 0,08%).
- Nema osetljivosti ka nastanku vrućih prslina.

- Niska deformabilnost, ali dovoljna duktilnost kod tanjih preseka (do 12mm); superferitni čelici su nešto veće deformabilnosti nego feritni i poluferitni čelici.

- Zbog dobrih mogućnosti difuzionih procesa kod temperature iznad 1000 °C dolazi do pojačanog rasta zrna. Pošto se osobine žilavosti feritnih čelika zasnivaju na finostrukturnoj strukturi, porastom zrna nastaje pojačano opadanje žilavosti. Pošto se nastanak grubog zrna i usled toga smanjena žilavost ne može popraviti naknadnom termičkom obradom (nepostojanje fazne transformacije) zavareni spojevi feritnih Cr čelika u prelaznoj zoni šava su povećane osetljivosti na zarez.

Sa porastom sadržaja Mo i Cr, zbog izlučivanja Cr karbida, obrazovanja sigma i ksi faze, krtost je veća.

- Udarna žilavost opada sa porastom Cr sadržaja; ekstremno niski sadržaji C i N kod superferitnih čelika obezbeđuju dovoljnu žilavost.

- Kod dugog žarenja između 400-550 °C opadanje žilavosti, zbog krtosti na 475°C.

- Visoki unutrašnji naponi, zbog relativno višeg napona tečenja i snižene toplotne provodljivosti.

- Feritne strukture  $\alpha$  i  $\delta$  ferita su magnetične.

lako zbog niže žilavosti feritni čelici naginju nastanku hladnih prslina, njihova sposobnost zavarivanja se može oceniti kao dovoljno dobra.

## DODATNI MATERIJALI ZA ZAVARIVANJE FERITNIH I POLUFERITNIH ČELIKA

U katalogima proizvođača dodatnih materijala daju se mnoge alternative i preporuke za odluku o izboru dodatnog materijala. Pri tome su u principu mogući sledeći pristupi

### Istorodni - srodni materijal (feritni)

Oznaka osnovnog materijala / broj	Tip / oznaka elektrode, žice, elektrodne žice / broj
X6Cr13 / 1.400	13 / X8Cr14 / 1.4009
X3CrTi17 / 1.4510	17 / X8CrTi18 / 1.4502

Prednost je iste hemijske i mehaničke osobine osnovnog materijala i metala šava. Nedostatak je mala deformabilnost metala šava, relativno visok

napon tečenja. Drugi tip je: cca 30 % Cr za vatrootporne Cr čelike.

### Austenitni (nesrodni)

Oznaka materijala / broj	Oznaka elektrode / žice, elektrodne žice / broj
X6Cr13 / 1.400	199; 19 9 Nb / X5CrNi19-9; X5CrNiNb19-9 / 1.4009
X3CrTi17 / 1.4510	199; 19 9 Nb / X5CrNi19-9; X5CrNiNb 19-9 / 1.4502

Prednost je metal šava dobre deformabilnosti sa nižim naponom tečenja (smanjenje sopstvenih napona). Nedostaci su: različite hemijske i mehaničke osobine (toplotno izduženje metala šava veliko, osnovnog materijala niže); različita boja lica šava i osnovnog materijala. Drugi tipovi su: 19 -9; 22-12; 25-4 i 25-20.

Austenitno-feritni / dupleks (nesrodni) Austenitno-feritni dodatni materijali su sa 25-30 %Cr i 4-6 %Ni. U novije vreme ovaj koncept se često primenjuje. Preko smanjenja udela Ni hemijska otpornost (npr. na dimne gasove koji sadrže S) još je relativno slična feritnim čelicima.



Razlika u toplotnom izduženju nije tako velika, a metal šava je značajno bolje deformabilnosti.

**Pokrivni sloj istorodan/srodan (feritni) - međuslojevi austenitni** Ovaj izbor se može primeniti samo kod delova veće debljine (šavovi većih preseka). Prednost je deformabilniji metal šava, izostaje nastanak sopstvenih napona; ista hemijska otpornost i iste mehaničke osobine pokrivnog sloja. Nedostatak je različito toplotno izduženje međuslojeva i pokrivnog sloja.

### HEMIJSKA POSTOJANOST

Izlučivanja intermetalnih faza i karbida, odnosno nitrida veoma jako utiču na hemijsku postojanost feritnih čelika. Pošto se samo kod feritnih čelika izlučivanja ne mogu izbeći kaljenjem (gašenjem) u vodi, postojanost prema interkristalnoj koroziji je samo onda ako je postignuto izjednačenje Cr izvan i unutar granica zrna. Pošto kod ferita i veoma mali sadržaj C odnosno N dovodi do začetka IK, preporučljiva je pojačana stabilizacija (Ti, Nb, Zr). I kod feritnih čelika otpornosti na IK pogoduje ograničenje sadržaja C na 0,005% i veoma nizak sadržaj N. Samo superferitni čelici (Cr cca 30%; C ≤ 0,03%) su u potpunosti koroziono postojani, i pri

zavarivanju su otporni na nastanak IK. Samo superferitni čelici su primenjivi u morskoj, običnoj i industrijskoj vodi sa visokim sadržajem Cl jona. Protiv tačkaste korozije i korozije u zazoru feritni čelici su, u zavisnosti od Cr i Mo sadržaja (OM=%Cr+3,3%Mo), malo otporni do otporni. Temperatura, koncentracija i vrsta medijuma ima pretežan uticaj na otpornost. Isto tako feritni Cr odnosno CrMo čelici sa niskim C (0,03%) i Cr sadržajem ≥ 18 % su postojani i prema koroziji u zazoru. Feritni čelici legirani sa Al i Si (vatrootporni) su kod povišenih temperatura takođe postojani na dimne gasove koji sadrže sumpor. Feritni čelici nisu dopustivi za rudarske mašine, posebno u sredini koja sadrži hloride. Od svih nerđajućih čelika poluferitni i feritni čelici sa do 17%Cr pokazuju najmanju postojanost u uslovima atmosfere bliske gradskoj, industrijskoj i morskoj. Čelici sa Cr sadržajem između 10 i 15% zastupljeni su, pored običnih nelegiranih i niskolegiranih čelika, u gradnji kontejnera, aviona i industrijskih postrojenja. Standardizovani feritni čelici otporni prema koroziji (EN 10088 -2:2002)

C%	Cr%	Ni%	Mo%	Si i Mn%	P%	S%	Ti%
0,025-0,08	10,5-30	0,3-1,6	0,9-4,5	1,0-1,5	<0,04	<0,015 <sup>1</sup>	0,25-0,8 <sup>2</sup>
Napomene: <sup>1</sup> Izuzev čelika za automate; <sup>2</sup> Sadržaj Ti varira u zavisnosti od sadržaja C+N: Ti=4x(C+N)							

**Tabela 8 :** Sadržaj legirajućih elemenata ovih čelika je u granicama:

Oznaka	Broj	Struktura	R <sub>m</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	R <sub>p0,2</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	A (%)
X2CrNi12	1.4003	M+δ	250-320	450-650	18-20
X2CrTi12	1.4512	M+δ	210-220	380-560	25
X6CrNiTi12	1.4516	M+δ	250-320	450-650	20-23
X6Cr13	1.4000	M+δ	220-250	400-600	19
X6CrAl13	1.4002	M+δ	210-250	400-600	17
X6Cr17	1.4016	M+δ	240-280	450-600	18-20
X3CrTi17	1.4510	δ	230-240	420-600	23
X3CrNb17	1.4511	δ	230-240	420-600	23
X3CrMo17-1	1.4113	δ <sup>1)</sup>	260-280	450-630	18
X2CrMoTi18-2	1.4521	δ	280-320	400-640	20
X2CrTi17	1.4520	δ	180-200	380-530	24
X2CrMoTi17-1	1.4513	δ	200-220	400-550	23
X6CrNi17-1	1.4017	δ <sup>2)</sup>	480-500	650-750	12
X6CrMoNb17-1	1.4526	δ <sup>2)</sup>	280-300	480-560	25
X2CrNbZr17	1.4590	δ	230-250	400-550	23
X2CrTiNb18	1.4509	δ	230-250	430-630	18
X2CrMoTi29-4	1.4592	δ	430-450	550-700	20

Moguća stanja isporuke: C=hladno valjano; H=toplovaljano; <sup>1)</sup> Moguće strukturalno stanje je A+δ+M; <sup>2)</sup> Moguće strukturalno stanje je δ+M i δ+A (10-20%)+M.

**Tabela 9 :** Vrste i osobine standardizovanih čelika



## MARTENZITNI ČELICI PODELA I PODRUČJA PRIMENE MARTENZITNIH ČELIKA

Prema bližim strukturnim karakteristikama, a time i osobinama najznačajnijim za primenu, ovi čelici se dele na:

1. Potpuno martenzitne;
  2. Martenzitne sa udelom ferita;
  3. Meke martenzitne i
  4. Martenzitne koji otvrdjavaju termičkim taloženjem
- Potpuno martenzitni čelici Sadrže  $C \geq 0,2\%$  i povišen udeo legirajućih elementa. Zbog visokog sadržaja C i legirajućih elemenata uslovno imaju i nemaju sposobnost zavarivanja. Njihova struktura je čisti martenzit (Šeflerov dijagram nije primenjiv). Kod zahteva toplotne postojanosti do  $500\text{ }^{\circ}\text{C}$  primenjuju se za hirurške instrumente, noževe i valjaoničke ležajeve, alatne čelike za topli rad, sečiva za brijanje... Primeri tipova čelika: X39Cr13; X50CrMoV15; X105CrMo17

Martenzitni čelici sa udelom ferita Sadrže  $0,1\% \leq C \leq 0,2/0,25\%$ ,  $13\% \leq Cr \leq 18\%$ , sa učešćem Ni/Mo. Čelici ove grupe razlikuju se od feritnih čelika uglavnom u povišenom sadržaju C (X12Cr13 martenzitni; X6Cr13 -feritni).

U ekstremnim graničnim vrednostima analize šarže kod ovih čelika može da nastane martenzitna ili feritna struktura. Čelici sa povišenim sadržajem C, Cr, Ni ili Mo su pretežno martenzitni. Uslovne su sposobnosti zavarivanja. Primenuju se za konstrukcione delove povišene čvrstoće, toplopostojane (armature za protok gasa, vode, pare), osovine, vratila, lopatice turbina, pancir...

Meki martenzitni čelici Sadrže  $C \leq 0,06\%$  i povišen sadržaj Ni (4-6%) i Mo (0,3-1,5%). Kod ovih čelika

sadržaj C je oštro snižen, a ulogu ugljenika preuzima Ni. Zato je sigurno da će nezavisno od brzine hlađenja nastati potpuno martenzitna struktura, koja je zbog sniženog sadržaja C relativno meka i žilava, zbog čega su dobre sposobnosti zavarivanja. Primenuju se za konstrukcione delove sa zahtevima dobrih osobina žilavosti i dobre korozione otpornosti. Karakteristični primeri čelika: X3CrNiMo13-4; X4CrNiMo16-5-1; X5CrNi13-1; X5CrNi13-4; Martenzitni čelici (marejdžing čelici) koji otvrdjavaju termičkim taloženjem Sadrže  $C \leq 0,08\%$ ,  $13 \leq Cr \leq 18\%$ ,  $Ni \leq 6\%$ ,  $Mo \leq 1,3\%$  i Cu/Al/Nb. Preko mehanizma izlučivanja Cu/Al/Nb obrazuju intermetalne faze i otvrdjavaju martenzitnu rešetku, bez mogućnosti povraćaja žilavosti ili izduženja. Strukture leže u mešovitom području A+M+δF. Termička obrada termičkog taloženja (starenja martenzita - marejdžing) obezbeđuje ovim čelicima visoku čvrstoću, a pri tome imaju dobru korozionu postojanost. Visoka čvrstoća se dobija izlučivanjem intermetalnih jedinjenja (kao klice obrazovanja služe Cu/Al/Nb) iz martenzitne strukture za vreme obrade taloženja. Primenuju se za konstrukcione delove u gradnji aparata i postrojenja za visoka mehanička, termička i koroziona opterećenja. Dobre su sposobnosti zavarivanja. Karakteristični primeri čelika: X5CrNiMoCuNb16-4-1; X8CrNiMoAl15-172 Fizičke i mehaničke osobine (stanje QT/ otvrdnuto taloženjem) U zavisnosti od sadržaja C i legirajućih elemenata osobine ovih čelika su bliže δ feritnim ili nelegiranim i niskolegiranim čelicima (tab.10).

Osobine	Martenzitni	Martenzitno-feritni	Meki martenzit	Martenzitni ojačani taloženjem
$R_{p0,2} (N/mm^2)$	600	450-650	500-800	500-1000
$R_m (N/mm^2)$	750-900	700-1050	600-1100	800-1000
A (%)	<10	10-14	12-15	10-18
KV (J)	<20	<25	<90	<75

**Tabela 10.** Okvirne mehaničke osobine martenzitnih čelika

U odnosu na martenzitne, meki martenzitni čelici i martenzitni čelici koji ojačavaju taloženjem su relativno dobre deformabilnosti i zadovoljavajućih osobina žilavosti. Izlučivanja/ krtost Svi navedeni čelici su skloni ogrubljenju zrna, a kod čelika sa udelom ferita sreće se i krtost pri  $475\text{ }^{\circ}\text{C}$  (čelici čije se granične vrednosti analize nalaze u blizini feritnih čelika). Martenzitno feritni čelici, sa povećanjem sadržaja C i povećanjem učešća legirajućih elemenata, skloniji su porastu osetljivosti

za nastanak prslina kaljenja i povećanoj krtosti usled izlučivanja Cr karbida.

Kod mekih martenzitnih čelika, zbog nižeg sadržaja C, osetljivost na hladne prsline usled zakaljivanja i Cr karbida je relativno manja. Kod niklovi martenzitnih čelika i čelika otvrdnutih taloženjem, krtost usled izlučivanja Cr karbida nije primetna. Kod ovih čelika, zbog visoke rastvorljivosti vodonika u martenzitu, može se očekivati pojava hladnih prslina izazvanih vodonikom. Izlučivanje ksi i sigma faze nije primetno.



## SPOSOBNOST ZAVARIVANJA MARTENZITNIH ČELIKA

Velika opasnost kod zavarivanja martenzitnih čelika su hladne prsline usled zakaljivanja (neotpušteni martenzit), vodonikom izazvane prsline i nastanak krtosti stvaranjem Cr karbida. U široj zoni ZUT moguće je visoko otpuštanje i pad čvrstoće. Zato je za zavareni proizvod povoljnije stanje visokootpuštenog martenzita. Kod nepotpune martenzitne transformacije u ZUT, zaostali austenit se naknadno transformiše u neotpušteni martenzit, o čemu se mora voditi računa (naknadno otpuštanje). Zbog loše toplotne provodljivosti, u principu kod većih debljina (iznad 5-10 mm) zahtevaju predgrevanje. Vreme otpuštanja se reguliše prema limu veće debljine.

**Potpuno martenzitni čelici** Uslovno su zavarljivi do nezavarljivi. Sa sadržajem C od 0,2% pretežno su zakaljivi na vazduhu, tako da je u ZUT moguća nepotpuna transformacija sa prisustvom podhlađenog austenita (zaostali austenit), koji se posle međuhlađenja transformiše u martenzit. Ako se odmah primeni otpuštanje, zbog strukture otpuštenog martenzita izbegava se opasnost od prsline usled naponskog stanja neotpuštenog martenzita. Termički ciklus zavarivanja:

- $T_p > 400^\circ\text{C}$ ;
- međuhlađenje ispod  $100^\circ\text{C}$  (0,5 – 2 časa);
- otpuštanje na temperaturi  $700-800^\circ\text{C}$ .

**Martenzitno feritni čelici** Uslovno su zavarljivi. Stanje im je kaljeno ili kaljeno i otpušteno (Q+T). Čelici sa cca 13%Cr imaju potpunu transformaciju u martenzit i ferit. Kod čelika sa cca 17%Cr transformacija je nepotpuna. Zavarivanje se izvodi sa termičkim ciklusom po metodi:

- a) Zavarivanje iznad  $M_s$  temperature:
  - $T_p = 200-350^\circ\text{C}$  (gornja granica za Cr13, donja granica za Cr17);
  - bez međuhlađenja, otpuštanje na temperaturi  $650-800^\circ\text{C}$  (0,5 do 2 časa);
  - polagano hlađenje na mirnom vazduhu ili u peći.
- b) Zavarivanje ispod  $M_s$  temperature:
  - $T_p = 100-150^\circ\text{C}$  (ispod  $M_s$ );
  - $T_i$  (međuslojna temperatura) max.  $150^\circ\text{C}$ ;
  - otpuštanje zavarenih slojeva polaganjem narednog sloja preklopnim zavarima (otpuštanje preko međuslojeva).

Meki martenzitni čelici, zavarljivi Zavarivanje se izvodi sa termičkim ciklusom po metodi:

- a) Zavarivanje iznad  $M_s$  (u austenitnom području):
  - $T_p = 200-300^\circ\text{C}$ ;
  - kontrolisano hlađenje na  $50-100$  ( $150$ )  $^\circ\text{C}$  za potpunu martenzitnu transformaciju;
  - otpuštanje (0,5-1 čas/600  $^\circ\text{C}$ ) ili ponovljeno kaljenje i otpuštanje ( $950-1050^\circ\text{C}$ / vazduh/600  $^\circ\text{C}$ ).
- b) Zavarivanje ispod  $M_s$ :
  - $T_p = 100-150^\circ\text{C}$ ;
  - $T_i = 150^\circ\text{C}$ ;

Kod reparaturnog zavarivanja sa povišenom temperaturom predgrevanja mora se primeniti međuhlađenje, kao pod a); otpuštanje (0,5-1 čas/600  $^\circ\text{C}$ ) ili ponovljeno kaljenje i otpuštanje ( $950-1050^\circ\text{C}$ / vazduh/600  $^\circ\text{C}$ ).

Martenzitni zavarljivi čelici otvrdnuti taloženjem Kod ovih čelika nastaje uvek potpuna martenzitna transformacija. Predgrevanje je prevashodno kod velikih debljina zida (25-40mm), zbog nastajanja termičkih napona. Otpuštanje kod nižih temperatura ( $450-550^\circ\text{C}$ ) dovodi do izlučivanja intermetalnih jedinjenja sa povećanjem čvrstoće i tvrdoće i sniženjem žilavosti i deformabilnosti.

## DODATNI MATERIJALI ZA MARTENZITNE ČELIKE

Martenzitni čelici sa sadržajem C  $> 0,25\%$ , uslovno su zavarljivi do nezavarljivi, retko se zavaruju. U principu za zavarivanje martenzitnih čelika koriste se austenitni dodatni (nesrodni) materijali. Moguće su varijante:

- austenitni dodatni materijal u celini;
  - srodni dodatni materijal u pokrivnom sloju.
- Zbog opasnosti od hladnih prsline izazvanih vodonikom, obavezno je sušenje bazičnih elektroda i praška.

## HEMIJSKA POSTOJANOST MARTENZITNIH ČELIKA

Martenzitni čelici se koriste pre svega zbog otpornosti na habanje, toplotne postojanosti, reznih osobina. Njihova postojanost na opšte nosioce korozije, naponske prsline i tačkastu koroziju je odgovarajuća feritnim čelicima sa sadržajem Cr 13-17 %.



Oznaka	Broj	Struktura	$Rp0,2(N/mm^2)$	$Rm(N/mm^2)$	A (%)	KV(20°C)
X12Cr13	1.4006	M+ $\delta$	400-450	550-850	20-12	25-
X20Cr13	1.4021	M+ $\delta$	450-600	650-950	15-10	25-20
X30Cr13	1.4028	M	600-650	800-1000	15-10	-
X39Cr13	1.4031	M	-	760-800	12-	-
X46Cr13	1.4034	M	-	780-800	12-	-
X50CrMoV15	1.4116	M	-	850-900	12-	-
X39CrMo17-1	1.4122	M	550	750-950	12	20-
X3CrNiMo13-4	1.4313	Meki M+ $\delta$	520-800	650-1100	15-11	70-50
X4CrNiMo16-5-1	1.4418	I J M+ $\delta$ +A	550-700	760-1100	16-14	90-55
Specijalni čelici za otvrdnjavanje termičkim taloženjem						
X5CrNiCuNb16-4	1.4542	I J M+ $\delta$ +A	1150-520	800-1300	18-3	75-40
X7CrNiAl17-7	1.4568	I J M+ $\delta$ +A	1310-	850-1450	19-2	-
Za sve vrste u žarenom/ izlučivanjem otvrdnutom stanju garantovane su samo tvrdoće (žareno 220-320 HB; otvrdnuto taloženjem: 360 HB); Sve vrednosti su u zavisnosti od oblika proizvoda i stanja termičke obrade; I J- intermetalna jedinjenja.						

### STANDARDIZOVANI MARTENZITNI ČELICI OTPORNI PREMA KOROZIJI ( EN 10 088-2)

#### AUSTENITNI ČELICI

Austenitni čelici se koriste u hemijskim postrojenjima, procesnoj opremi, mašingradnji, prehranbenoj opremi, kod niskih i povišenih

temperatura kao i u uslovima povišenih korozionih i termičkih opterećenja. Bliže namene određenih tipova čelika daju se u specifikacijama proizvođača.

Područja primene austenitnih čelika	Primeri
Toplopostojani, vatrootporni i otporni na kovarinu čelici	Sistemi CrNi 13/13; 16/13 ili 25/20 sa Mo do 7% i delimično sa sadržajem Si, sa do 0,15%C
Koroziono otporni čelici	Sistemi CrNi 18/10; CrNiMo 17/12/2 sa 0,02 do 0,1%C
Čelici žilavi na niskim temperaturama	Sistemi CrNi 18/10 sa 0,02 do 0,1%C

Tabela 11. Područja primene austenitnih čelika

Pored legirajućih elemenata Cr i Ni, pre svega su legirani i sa Mo (koroziona otpornost), Si-Al (vatrootpornost i otpornost na kovarinu), N (porast čvrstoće), Nb i Ti (stabilizacija protiv interkristalne korozije). Karakteristični izgled strukture valjanih austenitnih čelika su mikrostrukture dvojnikanja. Liveni austenit većinom ima globularnu strukturu.

#### VRSTE AUSTENITNIH ČELIKA

Dele se na potpuno austenitne čelike, koji kod svake temperature imaju austenitnu strukturu, i austenitne čelike sa udelom ferita (5 do 10%  $\delta$  ferita).

Vrste	Struktura	C%	Cr%	Ni%	Mo%	ostali %
Austenitni (potpuno i super austenitni)	A (100 %)	0,01-0,04 0,12-0,15	20-31 25-36	18-32 16-32	1-7 -	- Si=1-7
Austenitni sa udelom $\delta$ ferita	A+ $\delta$ F (0-20%)	0,02-0,06 0,02-0,12	17-19 17-19	7-15 5	2-5 -	- Mn=7-9

Tabela 12. Okvirni hemijski sastav austenitnih čelika

Najpoznatiji legirajući sistem austenitnih čelika sa udelom  $\delta$  ferita je CrNi18-10, odnosno CrNiMo17-12-2. Kod viših legirajućih sistema, da bi se dobio čist austenit, ako se sadržaj Cr Mo povećava ili se sadržaj C snižava, mora se Ni povećati.

Čelici sa nižim sadržajem Cr/Ni su na granici ka A+M mešanim strukturama. U ovom graničnom području austenit se može delimično ili potpuno

(kod dubokog hlađenja ili hladnog deformisanja) da transformiše u martenzit. U slučaju hladnog deformisanja govori se o martenzitu deformisanja. Martenzit deformisanja je relativno žilav. Stabilnost austenita se povećava dodatkom C, Ni, Mn, N i Cu (gamageni elementi). U zavisnosti od sadržaja C i legirajućih elemenata, austenitni čelici se mogu podeliti na:



**Austenitni čelici bez Mo** Ovo su najviše korišćene vrste, jer imaju dobar kompromis između proizvodne cene i korozione otpornosti. U odnosu na feritne i martenzitne vrste, teže su obradivi skidanjem strugotine.

**Austenitni čelici sa Mo** Dodatak Mo uopšte povećava korozionu otpornost, posebno protiv hlorida koji uzrokuju tačkastu i naponsku koroziju. U sonim kiselinama i nitroznim gasovima dodatak Mo je od manjeg uticaja.

**Austenitni čelici sa posebno niskim sadržajem C** Proizvodnja čelika sa  $\leq 0,030\%C$  je način za smanjenje osetljivosti za nastanak interkristalne korozije. Pri ovako niskom sadržaju ugljenik ostaje u čvrstom rastvoru i time se ne vezuje sa Cr, odnosno ne obrazuje Cr karbide. Stabilizovani austenitni čelici Dodatkom Ti ili Nb, koji imaju visok afinitet prema C, vezivanjem ugljenika sprečava se izlučivanje Cr karbida pri termičkoj obradi i/ili zavarivanju. Osim toga ovi čelici pokazuju dobre osobine toplotne postojanosti do oko  $600^{\circ}C$ .

**Superaustenitni čelici** Da bi se dobila austenitna struktura ovi čelici imaju povišen sadržaj Cr i Mo, i zbog toga visok sadržaj Ni i N. Imaju izuzetno dobru korozionu otpornost u agresivnim sredinama.

#### FIZIČKE OSOBINE

• Austenitni čelici su nemagnetični. Magnetični su samo delovi struktura nastalih iz  $\alpha$  ferita (martenzit i martenzit deformisanja) i delovi  $\delta$  ferita.

• U odnosu na sve druge vrste čelika austenitni čelici imaju znatno veće toplotno izduženje, pri istovremeno nižoj toplotnoj provodljivosti.

• Austenitni čelici nemaju faznu transformaciju i zato nisu zakaljivi.

• Austenitni čelici znatnije ojačavanju hladnom deformacijom.

#### MEHANIČKE OSOBINE

Finozrna struktura austenitnih čelika nastaje rekristalizacijom kod toplog deformisanja ili naknadnom rekristalizacijom. Završna termička obrada je rastvarajuće žarenje između  $1000$  i  $1150^{\circ}C$ , sa završnim brzim hlađenjem (austenitno kaljenje) u vodi ili na vazduhu. Odgovarajuća temperatura rastvarajućeg žarenja zavisi od toga da li je potrebno rastvaranje faza/intermetalnih jedinjenja/karbida, a kada su prisutne visokolegirane faze može da bude i preko  $1150^{\circ}C$ . Vrednosti čvrstoće čisto austenitnih struktura su značajno niže od onih kod  $\delta$ ,  $\alpha$  ili Ni martenzitnih čelika. Mogućnosti povećanja čvrstoće su ojačavanjem mešanim kristalima (čelici povišenog sadržaja N, C, Cu...), hladnim ojačavanjem (kod manjih preseka hladnim deformisanjem, valjanjem i vučenjem na okolnoj temperaturi, ili kod većih poprečnih preseka valjanjem ili kovanjem kod temperatura  $T \leq 800^{\circ}C$ ) i otvrdnjavanjem preko stvaranja karbida ili nitrida (povišen sadržaj N i C). Hladnim deformisanjem mogu se dostići sledeći stepeni ojačavanja:

Oznaka stepena ojačavanja	C700	C850	C1000	C1150	C1300
Čvrstoća na zatezanje	700-850	850-1000	1000-1150	1150-1300	1300-1500

Za povećanje obradivosti rezanjem kod tanjih preseka stanje isporuke je hladno deformisano. Za poboljšanje obradivosti skidanjem strugotine mogu se dodatno legirati sa sumporom. Time se ipak redukuje koroziona otpornost. Povećanje čvrstoće legiranjem je uglavnom sa N, u kom slučaju je viša temperatura rekristalizacije. Austenitni čelici zadržavaju dobru žilavost i sigurnost od krtog loma

sve do jako niskih temperatura ( $< -200^{\circ}C$ ). Snižanje čvrstoće kod povišenih temperatura (do  $600^{\circ}C$ ) je malo. Većina austenitnih čelika na temperaturama do  $600^{\circ}C$  ima bolje mehaničke osobine od nisko i visokolegiranih  $\alpha$ ,  $\delta$ ,  $\delta+\gamma$  čelika. Veoma dobre osobine žilavosti na niskim temperaturama i austenita daju prednost primeni austenitnih čelika u kriogenim uslovima rada.

Mehaničke osobine	Austenitni, rastvarajuće žareni	Austenitni, legirani sa N	Austenitni, hladno ojačani (40%)
$R_{p0,2}$ (N/mm <sup>2</sup> )	175-230	250-400	do 1100
$R_m$ (N/mm <sup>2</sup> )	450-750	550-850	do 1200
A (%)	40-45	35-40	cca 30
KV (+20°C)	>100	100	< 90

**Tabela 13.** Okvirne mehaničke osobine austenitnih čelika



## IZLUČIVANJA / KRTOST

Nasuprot feritnim ( $\delta$  i  $\alpha$ ) čelicima, kod austenitnih čelika nema izraženog porasta zrna i takođe nema krtosti 475 °C. Kod svih austenitnih čelika sa udelom ferita može se očekivati obrazovanje sigma faze. Takođe, u literaturi se ukazuje i na stvaranje ksi i Laves faze.

Porastom sadržaja  $\delta$  ferita povećava se broj klica i brzina obrazovanja klica sigma faze (austenitni čelici sa udelom  $\delta$  ferita >10 %). Posebno visoko učešće Cr, Mo, Si, Al, Nb i Ti pospešuje obrazovanje sigma faze (potpuno austenitni čelici). U zavisnosti od legiranosti, obrazovanje izlučevina može da bude tako veliko da i potpuno austenitni čelici takođe postaju krti ili gube korozionu otpornost. Prethodni proces hladnog deformisanja austenitnih čelika povećava sklonost ka izlučivanju, povećava brzinu obrazovanja klica i smanjuje vreme njihovog obrazovanja. Prisustvo  $\delta$  ferita smanjuje energiju aktivnosti izlučivanja karbida i dovodi do ubrzanog razlaganja rastvora matrice (obogaćenja CrSiMo ili SiMo, pre svega osiromašenja Cr). Obrazovanje Cr karbida povećava osetljivost ka interkristalnoj koroziji (osiromašenje Cr kroz obrazovanje Cr<sub>23</sub>C<sub>6</sub> po granicama zrna). Za otpornost ka interkristalnoj koroziji koriste se čelici sa C ≤ 0,03% ili stabilizovani (Ti/C=4:1; Nb/C=8:1) sa do 0,08%C. Elementi stabilizatori (Ti, Nb, kao i Ta i V) pomeraju obrazovanje karbida ka nižim temperaturama i produžuju vreme obrazovanja karbida. Kod veoma niskog sadržaja C sreću se M<sub>23</sub>C<sub>6</sub> karbidi koji doprinose u manjoj meri krtosti i osetljivosti ka interkristalnoj koroziji. Kod čisto austenitnih čelika, zbog jako izražene kristalne segregacije (razlaganja legirajućih elemenata u posebna zrna) nastaje pojačana opasnost od obrazovanja vrućih prslina. Ova opasnost se povećava sa elementima P, S i Si. Da bi se zone segregacija ili granice zrna osiromašile sa niže topivim fazama, i time otklonila opasnost od vrućih prslina, treba sniziti sadržaj Nb (≤ 1%), Si (≤ 0,5%) i zbir P/S (preporuke ≤ 0,01%).

Udeo  $\delta$  ferita od 3-8% znatno umanjuje opasnost od vrućih prslina, jer  $\delta$  ferit u odnosu na austenite ima veliku rastvorljivost elemenata P/S/Si. Pri tome  $\delta$  ferit je mekši od austenita i lakše razgrađuje unutrašnje napone putem deformisanja. Fino raspoređena primarno očvrsla  $\delta$  zrna deluju kao kristalizacione klice; zbog finijeg zrna nastajući film po granicama zrna (karbidi) je tanji, a time i elastičniji.

Povećan udeo  $\delta$  ferita jako ubrzava obrazovanje sigma faze i smanjuje otpornost na interkristalnu koroziju.

Što je austenit više stabilizovan to je manja opasnost od prslina usled naponske korozije. Opasnost od Cl i drugih halogenida nastaje naročito ako se sistem CrNi 18-8 po svom položaju nalazi u graničnom području austenite A+M+F/A+F/A+M (nestabilizovani austenit).

## SPOSOBNOST ZAVARIVANJA AUSTENITNIH ČELIKA

U odnosu na austenitne čelike sa udelom  $\delta$  ferita, svi potpuno austenitni čelici su skloni vrućim prslinama. Vruće prsline nastaju u metalu šava ili u ZUT, zavisno od hemijskog sastava osnovnog i dodatnog materijala i stepena njihovog mešanja. Na pojavu vrućih prslina direktan uticaj imaju različiti elementi, pre svega P i S, obrazovanjem i koncentracijom niskotopivih eutektika po granicama zrna. Sadržaj C i Si u metalu šava treba da bude u određenom odnosu. Zbog uticaja Si na povećanje sklonosti ka vrućim prslinama, smanjenje udela Si treba da bude kompenzovano sa Nb. Zbog visokog stepena čistoće savremeni dodatni materijali su manje osetljivi na vruće prsline. Ipak, nije ih moguće apsolutno sigurno izbeći. Udelom  $\delta$  ferita u austenitnom metalu šava, a takođe i u osnovnom materijalu, smanjuje se osetljivost ka nastanku vrućih prslina. Najvažniji opšti uticaj udela  $\delta$  ferita je iz tri razloga. Prvi razlog je što će slojevi  $\delta$  ferita rastvoriti određenu količinu elemenata koji utiču na stvaranje vrućih prslina. Tako će P, Si i delimično S biti uključeni u mešane kristale i isključeni kao komponente za niskotopive eutektikume, a time i za mogućnost obrazovanja vrućih prslina. Druga povoljnost je što iz rastopa izdvojeni kristali  $\delta$  ferita obrazuju klice za finostrukturnu kristalizaciju metala šava. U finostrukturnoj strukturi veća je raspodela niskotopivih eutektikuma, što je čini manje opasnom za stvaranje vrućih prslina. Treća povoljnost je što udeo  $\delta$  ferita u temperaturnom intervalu krtosti, svojom elastičnošću umanjuje opasnost od vrućih prslina. Kao donja granica za preporučeni udeo  $\delta$  ferita obično se uzima 3 do 4%. Veći udeo  $\delta$  ferita utiče na smanjenje pre svega žilavosti na niskim temperaturama i pogoduje stvaranju sigma faze. Udeo  $\delta$  ferita u zavarenim spojevima ima prednosti, ali i nedostatke. Prednosti su u smanjenju osetljivosti za nastanak vrućih prslina, finostrukturnoj strukturi metala šava, povišenoj otpornosti prema naponskoj koroziji. Nedostaci su što pogoduje obrazovanju sigma faze i što je otpornost prema IK lošija. Za određivanje udela  $\delta$  ferita u metalu šava uobičajene su metode:

- primena dijagrama struktura;
- metalografska strukturalna analiza;
- magnetske metode ispitivanja.



Prema "Uputstvu za specifikaciju sadržaja ferita u nerđajućim čelicima" datom od IIW, za specifikaciju sadržaja ferita treba koristiti feritni broj (FN). Specificiran FN treba da se meri magnetnim mernim uređajem prema ISO 8249. Prigodne dijagrame, kao što je Šeflerov dijagram (kao i ostali koji se na njemu zasnivaju) treba koristiti pre svega za procenu, odnosno predviđanje udela ferita. Za smanjenje opasnosti od nastajanja vrućih prslina korisno je smanjenje količine unosa toplote (tanke elektrode, pravi prekidni zavari). Metal šava elektroda sa cca 18 Cr, 8 Ni i 6 Mn nije preterano osetljiv na vruće prsline. Ipak, ovaj metal šava nije vatrootporan. Opasnost od nastanka vrućih prslina ne postoji kod legura koje leže ispod linije Tira (odsečak trofazne zone sa ekvivalentnom tačkom 28/18.).

### **Termička obrada posle zavarivanja**

Koeficijent toplotnog izduženja austenitnih čelika je za oko 50% veći od feritnih čelika. To pogoduje nastanku zaostalih napona i deformacija (vitoperenje). Međutim, zbog dobre deformabilnosti, dobre žilavosti i nižeg napona tečenja, ne sreću se problemi nastanka hladnih prslina / krtoeg loma. Zbog toga žarenje za smanjenje napona nije potrebno.

Zbog prslina usled naponske korozije žarenje za smanjenje napona je ipak preporučivo.

Zbog smanjenja osetljivosti na interkristalnu koroziju treba koristiti čelike sa nižim sadržajem C ili stabilizovane vrste čelika. Ako se primenjuje termička obrada, to je rastvarajuće žarenje i žarenje za smanjenje napona. 1. Rastvarajuće žarenje: Temperatura žarenja je 1000-1100 °C (potpuno austenitni čelici u rasponu 1050 do 1100 °C, austenitni čelici sa udelom  $\delta$  ferita na 1000 do 1050 °C), vreme žarenja 10 do 30 minuta, a zatim oštro hlađenje u vodi ili na vazduhu. Pri tome se rastvaraju karbidi i sigma faza, a struktura se sastoji samo od austenita. Kod austenitnih čelika sa udelom  $\delta$  ferita udeo ferita će se izgubiti. 2. Žarenje za smanjenje napona: Temperatura žarenja 900 do 950 °C, vreme žarenja 20 do 40 minuta. Cilj je razgradnja sopstvenih napona kod opasnosti od prslina usled naponske korozije. Ispravljanje deformacija plamenom je problematično zbog preuzimanja C iz gorivog gasa, što može dovesti do ubrzanja nastanka interkristalne korozije, a zbog

unutrašnjih napona i nastanka prslina usled naponske korozije. Zbog toga se vršna temperatura grejanja tačke plamenom mora ograničiti na 800 °C. To je moguće samo ako se tačno odredi početak rada ispravljanja plamenom pri konstantnoj veličini plamena, pri određenoj temperaturi i vremenu grejanja.

### **DODATNI MATERIJALI ZA ZAVARIVANJE AUSTENITNIH ČELIKA**

U principu je izbor dodatnog materijala slične ili više legiranosti u odnosu na osnovni materijal. Dodatni materijali, zbog nižeg sadržaja C ili sa dodatkom stabilizujućih elemenata, obezbeđuju metal šava koji nije osetljiv na interkristalnu koroziju.

### **HEMIJSKA POSTOJANOST AUSTENITNIH ČELIKA**

Potpuno austenitni i austenitni čelici sa niskim udelom  $\delta$  ferita uopšte pokazuju dobru korozionu postojanost, i posebno, postojanost protiv oksidirajućih i neoksidirajućih kiselina i baza, kao i protiv organskih kiselina. Protiv slabih kiselina, kao npr. razne mineralne vode, postojanost je loša. Vode siromašne kiseonikom takođe mogu imati koroziono dejstvo. Potpuno austenitni čelici su homogene strukture, i zato su normalno veće korozione postojanosti. u odnosu na austenitne čelika sa udelom  $\delta$  ferita, Ovi čelici nisu posebno postojani u gasovima koji sadrže sumpor. U prisustvu Cl jona austenitni čelici su skloni tačkastoj koroziji. Preko zaprljanosti, i posebno prisustvom produkata stranih oksida (rđe), joni hlora mogu da se lokalno oštro aktiviraju. Čelici sa sadržajem Mo su nešto otporniji na tačkastu koroziju.

U temperaturnom području 600-800 °C obrazuju se za relativno kratko vreme (već kod zavarivanja) Cr karbidi po granicama zrna, što može da dovede do IK. Sa porastom C obrazovanje karbida se pomera ka nižim temperaturama, pri dužem vremenu zadržavanja. Zbog toga su čelici sa 0,05% C manje osetljivi, a sa 0,03% C nisu osetljivi na IK. Kod čelika sa sadržajem C približno 0,05% obrazovanje karbida može nastati ako se zavaruje sa posebno visokim unosom toplote (npr. EPP zavarivanje) ili kod učestalog dogrevanja (npr. kod debelih poprečnih preseka). U takvim slučajevima treba koristiti čelike sa nižim sadržajem C, ili stabilizovane čelike. Stabilizovanje znači vezivanje C sa Ti, Nb, Ta, u cilju otklanjanja opasnosti od IK.



Oznaka	Broj	Struktura	$Rp0,2$ (N/mm <sup>2</sup> )	$Rm$ (N/mm <sup>2</sup> )	A(%) d $\square$ 3 mm
X10CrNi18-8	1.4310	A+M+20%F	250	600-950	40
X2CrNi18-7	1.4318	A+10%F	330-350	630-850	40-45
X2CrNi18-9	1.4307	A+20%F	200-220	500-670	45
X2CrNi19-11	1.4306	A+10%F	200-220	500-670	45
X2CrNi18-10	1.4311	A+5%F+M	270-290	550-750	40
X5CrNi18-10	1.4301	A+20%F	210-230	520-750	45
X8CrNi18-9	1.4305	A+20%F	190	500-700	35
X6CrNiTi18-10	1.4541	A+20%F	200-220	500-720	40
X4CrNi18-12	1.4303	A+20%F	220	500-650	45
X2CrNiMo17-12-2	1.4404	A+10%F	220-240	520-680	40-45
X2CrNiMoN17-11-2	1.4406	A	280-300	580-780	40
X5CrNiMo17-12-2	1.4401	A+10%F	220-240	520-680	40-45
X5CrNiMoTi17-12-2	1.4571	A+10%F	220-240	520-690	40
X2CrNiMo17-12-3	1.4432	A+20%F	220-240	520-700	40-45
X2CrNiMo18-14-3	1.4435	A	220-240	520-700	40-45
X2CrNiMoN17-13-5	1.4439	A	270-290	580-780	35-40
X1NiCrMoCu25-20-5	1.4539	A	220-240	520-730	35
X1CrNi25-21	1.4335	A	200	470-670	40
X6CrNiNb18-10	1.4550	A+20%F	200-220	500-720	40
X1CrNiMoN25-22-2	1.4466	A	250	540-740	40
X6CrNiMoNb17-12-2	1.4580	A+20%F	220	520-720	40
X2CrNiMoN17-13-3	1.4429	A	280-300	580-780	35-40
X3CrNiMo17-13-3	1.4436	A+20%F	220-240	530-700	40
X2CrNiMoN18-12-4	1.4434	A+5%F	270-290	540-770	35-40
X2CrNiMo18-15-4	1.4438	A	220-240	520-720	35-40
X1CrNiSi18-15-4	1.4361	A	220	530-730	40
X12CrMnNiN17-7-5	1.4372	A+20%F+M	330-350	750-950	40-45
X2CrMnNiN17-7-5	1.4371	A+5%F+M	280-300	630-850	35-40
X12CrMnNiN18-9-5	1.4373	A+20%F	320-340	600-880	35-45
X1NiCrMoCu31-27-4	1.4563	A	220	500-700	40
X1CrNiMoCuN25-25-2	1.4537	A	290	600-800	40
X1CrNiMoCuN20-18-7	1.4547	A	300-320	650-850	35-40
X1NiCrMoCuN25-20-7	1.4529	A	300	650-850	40

Moguća stanja isporuke: C = hladno valjano; H = toplo valjano

### STANDARDIZOVANI AUSTENITNI ČELICI ( EN 10 088-2)

#### AUSTENITNO FERITNI (DUPELKS) ČELICI

Područje primene austenitno-feritnih čelika je za mašinske delove visokih hemijskih i mehaničkih opterećenja: u izradi aparata, postrojenja, cevovoda hloriga, vodonik sulfida i ugljen dioksida; u petrohemijskoj industriji prerade i transporta nafte i sirovog prirodnog gasa; of šor tehnici; preradi celuloze i hemijskoj industriji (pumpe, centrifuge i rezervoari), rudarske mašine.

Austenitno-feritni čelici se sastoje iz dve strukturno različite faze ( $\gamma+\delta$ ), ponekad sa značajnim razlikama hemijskog sastava. O dupleks čelicima govori se kada obrazovana heterogena struktura ostaje stabilna i kod niskih temperatura. Obrazovana dvofazna struktura, sa sadržajem

C%	Cr%	Ni%	Mo%	i dodaci %
0,03-0,05	21-28	3,5-7	2,5-4	N, Cu, W, Nb ili Ti

Za razliku od čisto austenitnih ili feritnih čelika, termička obrada ne služi samo za rastvaranje izlučevina (rastvarajuće žarenje), nego mnogo više za podešavanje definisane količine strukturnih delova. Pošto kod ove termičke obrade igraju ulogu

ferita oko 50% kao primarne faze, i oko 50% austenita kao sekundarne faze, ima jedne pored drugih osobine čisto austenitnih i čisto feritnih čelika: visok napon tečenja i zateznu čvrstoću, dobru žilavost, kao i odličnu korozionu otpornost na naponsku i tačkastu koroziju izazvanu hlorigima.

Primeri dupleks čelika:

X2CrNiN23-4; X2CrNiMoN22-5-3; X3CrNiMoN27-5-2; X2CrNiMoCuWN25-7-4. Struktura dupleks čelika (količinski odnos između  $\gamma$  i  $\delta$ ) veoma zavisi od hemijskog sastava, termičkog procesa u izradi čelika (brzine hlađenja u određenim temperaturnim područjima) i termičke obrade (homogenizaciono žarenje i austenitno kaljenje-gašenje). Generalno, hemijski sastav ovih čelika je u granicama:

i legirajući elementi koji se ne uzimaju u obzir kod Creq ili Nieg, za ove čelike se ne može koristiti Šeflerov dijagram. Kao pomoćno sredstvo služi dijagram DeLonga.



## FIZIČKE OSOBINE

Zavisno od udela  $\delta$  ferita ovi čelici su jače ili slabije magnetični. Toplotno izduženje je niže, a toplotna provodljivost je veća od austenitnih čelika. Dupleks čelici su skloni jakom ojačavanju hladnom deformacijom.

## MEHANIČKE OSOBINE

Napon tečenja i zatezna čvrstoća ovih čelika su više od feritnih ili austenitnih čelika. Dobijena čvrstoća zadržava se i kod povišenih temperatura. Zbog opasnosti od krtosti na 475 °C u feritnom

$R_{p0,2}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$R_m$ (N/mm <sup>2</sup> )	A (%)	KV (+20°C)
400-750	500-900	>18	>50

## IZLUČIVANJA /KRTOST

Pošto austenitno-feritni čelici imaju veći sadržaj Cr i Mo, zbog visokog nivoa čvrstoće i visokog udela feritnih struktura, u odnosu na austenitne čelike pokazuju jako izraženu sklonost ka krtosti. Kod usporenog hlađenja u svakom slučaju se mora računati na pojavu ksi i sigma faze (obogaćivanje Cr u feritu) i krtost na 475°C. S druge strane hlađenje ne sme da bude ni suviše brzo, jer će inače iz primarno očvrslog ferita nastati suviše malo austenita, što dovodi do krtosti i pada deformabilnosti (krtost kroz segregiranje ferita). Kod ubrzanog hlađenja, zbog povišenog nivoa čvrstoće, mogu da nastanu visoki sopstveni naponi. Iz tih razloga dupleks čelici se polako hlade, jer uticaj visokih sopstvenih napona i sniženje udela austenita ocenjuju se kao kritičniji na deformabilnost od uticaja izlučivanja. Izlučivanja se rastvaraju rastvarajućim žarenjem (1020-1100°C) sa završnim kaljenjem - gašenjem.

## SPOSOBNOST ZA ZAVARIVANJE AUSTENITNO-FERITNIH ČELIKA

Dupleks čelici, posebno oni sa sadržajem C<0,03% i sadržajem N od 0,5 do 0,3%, u opštem slučaju i kod pažljivo odabranih parametara zavarivanja su dobre zavarljivosti. Posebno treba uzeti u obzir da su zbog postojanja dve vrste struktura istovremeno prisutne i prednosti i nedostaci ponašanja pri zavarivanju (težnje su ka odnosu  $\delta : \gamma = 1:1$ ). Zbog niže deformabilnosti  $\delta$  ferita sadržaj  $\delta$  ferita čistog metala šava treba da bude ispod 60% (30% do maksimalno 50%), da bi se u zoni mešanja sprečio porast udela  $\delta$  ferita. Zbog toga dodatni materijali sadrže oko 3-4% više Ni u odnosu na osnovni materijal.

Sa porastom udela  $\delta$  ferita (>50%) nastaje opasnost od krtosti usled ogrubljenja zrna i izlučivanja krtih faza, visoki sopstveni naponi i prsline indukovane vodonikom. Čelici legirani sa N imaju povišenu otpornost prema izlučivanjima i

strukturnom udelu, temperaturno područje primene je ograničeno na ispod 250 °C. Najveće vrednosti čvrstoće pokazuju sistemi legirani sa N. Nivo žilavosti je iznad feritnih čelika. Suprotno austenitnim čelicima, jako izražene visoke vrednosti žilavosti egzistiraju i na visokim i niskim temperaturama, slično kao kod feritnih čelika. Kao i austenitni čelici, dupleks čelici su skloni, ojačavanju hladnom deformacijom i očuvanju važnih osobina trajne čvrstoće. Tabela 14. Okvirne mehaničke osobine dupleks čelika

grubom zrnju. Zbog vitoperenja i nastajanja sopstvenih napona, termička obrada (rastvarajuće žarenje i kaljenje) je često samo uslovno primenljiva, posebno kod delova veće debljine. Za smanjenje deformacija (vitoperenja) moraju se predvideti veći zazori u korenu žljeba. Brzina hlađenja metala šava mora da bude podešena u određenim granicama, da bi pri očvršćavanju metalne kupke bilo dovoljno vremena za dobijanje dovoljne količine austenita. Brzina hlađenja metala šava zavisi od količine unete toplote, međuslojne temperature i debljine osnovnog materijala, odnosno metala šava. Radi smanjenja brzine hlađenja i nivoa sopstvenih napona te sprečavanja nastanka hladnih prslina, kod debljina iznad 10 mm debljine zida, kod postavljanja pripoja i zavarivanja treba primeniti predgrevanje na 100 °C, a kod debljina iznad 25 mm na 150 °C. Vreme hlađenja od 1200 na 800 °C (t1200/800) ne treba da je veće od 10 sekundi. Kraće vreme hlađenja dovodi do povećanja udela ferita i niže žilavosti. Oštro hlađenje sa vazduhom pod pritiskom ili vodom treba izbegavati. Opasnost od vrućih prslina raste sa porastom sadržaja austenita (>50%).

Međuslojna temperatura je ograničena u zavisnosti od sadržaja austenita na  $T_i=200$  do 150 °C, a uneta količina toplote održava se pogonskom energijom zavarivanja između 6-25 kJ/cm, zavisno od debljine zida (preporuka za X2CrNiMoN22-5-3). Za sprečavanje termičkog obojenja koje smanjuje korozionu otpornost, preporučuje se zaštita korena šava kao kod austenitnih čelika. U zaštitnom gasu za zavarivanje i zaštitu korena, zbog opasnosti od pojave krtosti, treba umanjiti sadržaj kiseonika. Zbog visokih jačina struja zavarivanja EPP postupak daje visok nivo ferita u metalu šava. Zbog toga, i grubozrne strukture metala šava, neophodno je obratiti pažnju na pripremu i odabir žljeba spoja. Uvek se zavaruje sa dodatnim materijalom. Na sučeonim spojevima u izvođenju korenog zavara i na spojevima bez dodatnog materijala primena TIG



postupka, zbog velikog mešanja sa osnovnim materijalom, može da dovede do 100% degradacije metala šava.

Oksidisana mesta pripoja, termički oksid i brizganje od zavarivanja (nalepljene brizgane kapi) moraju se obradom odstraniti, ne smeju se prevariti.

Termičko obojenje treba odstraniti. Bajcovanje i metode pasivizacije, kao i brušenje i četkanje, treba sprovesti kao kod austenitnih čelika. Zavarivanje treba poveriti samo posebno obučanim i proverenim zavarivačima, uvežbanim na odgovarajućem čeliku.

### DODATNI MATERIJALI ZA AUSTENITNO-FERITNE ČELIKE

Većina dupleks čelika očvršćava sa pretežnim udelom ferita i naknadna delimična transformacija

Osnovni materijal	Tip/oznaka elektrode, žice
X2CrNiMoN22-5-2 (1.4462)	23 3 (1.4462)
X3CrNiMoN27-5-2 (1.4460)	X2CrNi24-12 (1.4330)
X3CrNiMoN27-5-2 (1.4460)	X2CrNiMo19-12 (1.4430)
X3CrNiMoN27-5-2 (1.4460)	29 9 odnosno X10CrNi 30-9 (1.4337)

Izbor uobičajenih trgovačkih kvaliteta dodatnih materijala je mali. Za specijalne slučajeve primene za izbor optimalnog dodatnog materijala treba se dogovoriti sa proizvođačem.

### HEMIJSKA POSTOJANOST AUSTENITNO-FERITNIH ČELIKA

vi čelici imaju visoku postojanost protiv svih opštih uzročnika korozije, naponske korozije i tačkaste korozije. Otporni su na agresivne gasove (i one koji sadrže S) i hladnu (tekuću) vodu; medijume sa visokim sadržajem hlorida, organske kiseline, fosforu i sumpornu kiselinu. Takođe, u području of

šor dupleks čelici su otporni prema jezerskoj i morskoj vodi. Izbor dodatnog materijala i sprovođenje termičke obrade i zavarivanja u velikom delu zahtevaju iskustvo. Korozionu postojanost oštro narušava feritizacija (segregacija feritne strukture). Za smanjenje korozione postojanosti odgovorni su izlučivanja ksi i sigma intermetalnih faza i Cr nitrida.

U cilju poboljšanja obradivosti rezanjem, toleriše se povećan sadržaj S ( $0,015 < S < 0,035$ ). Ovaj povećan sadržaj S za određene slučajeve ipak delimično redukuje korozionu otpornost.

Primer primene	Feritni br.		Šta se događa kad je	
	min.	max.	iznad	ispod
Bez udela ferita nemagnetični čelici sa permeabilitetom do max.0,1	-	0,1	Magnetizacija je moguća	
Veoma nizak udeo ferita - nerđajući i korozionootporni čelici - vatro i na kovarinu otporni čelici - čelici za niske temperature ispod -105 °C	-	0,5	- porast osetljivosti na vruće prsline - porast osetljivosti na vruće prsline - porast osetljivosti na vruće prsline	- selektivna korozija  - izlučivanje intermetalnih faza - gubitak osobina žilavosti
Niži udeo ferita - nestabilizovan metal šava do 350 °C - stabilizovan metal šava do 400 °C - visokotemperaturna primena	4  6  3	12  15  8	- porast osetljivosti na vruće prsline - porast osetljivosti na vruće prsline - porast osetljivosti na vruće prsline	- smanjenje žilavosti i duktilnosti - smanjenje žilavosti i duktilnosti - krtost, povećanje intermetalnih faza,
Viši udeo ferita  feritno-austenitni (dupleks) čelici	30	70	smanjenje otpornosti na naponske prsline i korozionu postojanost; smanjenje čvrstoće	smanjenje žilavosti i duktilnosti; poboljšanje korozione otpornosti



## UTICAJ SADRŽAJA FERITA U AUSTENITNO-FERITNIM ČELICIMA

Oznaka	Broj	$Rp_{0,2}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$R_m$ (N/mm <sup>2</sup> )	A(%) d $\geq 3$ mm
X2CrNiN23-4	1.4362	400-420	600-850	20-25
X2CrNiMoN22-5-3	1.4462	460-480	640-950	25
X2CrNiMoCuN25-6-3	1.4507	490-510	690-940	17-25
X2CrNiMoN25-7-4	1.4410	530-550	730-1000	15-20
X2CrNiMoCuWN25-7-4	1.4501	530	730-930	25

Moguća stanja isporuke: C=hladno valjano; H= toplovaljano

### STANDARDIZOVANI AUSTENITNO FERITNI ČELICI (EN 10088-2)

#### PRAVILA PRERADE NERĐAJUĆIH ČELIKA

Koroziona postojanost se smanjuje usled kontaminacije raznog porekla: termičkog bojenja, troske, oksida, stranih produkata oksidacije, zbog čega se u preradi mora voditi računa o čistoći površina zavarivanja. Zbog toga se kod zavarivanja moraju preduzeti odgovarajuće mere.

#### MERE KOD PRIPREME I ZAVARIVANJA

Primena nerđajućih alata, npr. četki od nerđajućeg čelika, hromiranih čekića, posebno zaštite materijala od čeličnih opiljaka od brušenja običnih ugljeničnih čelika; zaštite folijama posebno kod savijanja ivica, radioničkog rezanja; zaštite stranica žljeba od brizganja od zavarivanja običnih ugljeničnih čelika. Sve to ukazuje na potrebu fizičkog odvajanja zavarivačkog prostora između običnih ugljeničnih i nerđajućih čelika. Izbegavati neprovarenost korena; pri zavarivanju štiti površine od zagrevanja i sa korene strane koristeći argon ili formir gas.

Kod MIG zavarivanja kao zaštitni gas se koristi argon sa 1-3% O<sub>2</sub> ili 2-3% CO<sub>2</sub> (MAGM1). Veći sadržaj O<sub>2</sub> dovodi do pojačanog termičkog bojenja, a veći sadržaj CO<sub>2</sub> dovodi, osim jačeg termičkog bojenja, i do naugljeničenja, zbog čega mogu nastati Cr karbidi. Termičko rezanje Za termičko rezanje koristi se plazma rezanje. Po pravilu se koristi mešavina Ar+H<sub>2</sub>, Ar+N ili Ar+H<sub>2</sub>+N. Kod plazma rezanja treba voditi računa da širina žljeba rezanja po debljini lima nije konstantna. Ivica reza po pravilu treba prebrusiti. Takođe, da kasnije ne bi došlo do korozije, površine rezanja mora da budu metalno sjajne.

#### Toplo deformisanje

Kod toplog deformisanja čelici termički oksidišu (kovarina). Kovarina umanjuje korozionu postojanost, zbog čega se mora naknadno otkloniti. Kod samo lokalnog zagrevanja kod nestabilizovanih čelika, u području u kojem je dovoljno dugo zadržavana temperatura od 600-800°C, nastaje opasnost od Cr karbida. Kod suviše dugog i visokog zagrevanja dolazi do stvaranja grubog zrna, koje se kod čelika koji nemaju faznu

transformaciju ne može otkloniti. Uticaj je posebno nepovoljan kod feritnih čelika.

#### Hladno deformisanje

Kod svih metala kod hladnog deformisanja povećava se napon tečenja i čvrstoća, odnosno nastaje hladno ojačavanje. Istovremeno opada sposobnost deformisanja. Kod deformabilnih materijala koji imaju veliko prekidno izduženje, da bi se dobio materijal povišene čvrstoće može se koristiti hladno ojačavanje, a da se ipak još u određenoj meri zadrži deformabilnost. Nerđajući čelici stanja obrade C700 imaju prekidno izduženje koje odgovara čeliku S 235, iako im je napon tečenja za preko 50% veći.

Nepovoljnost hladno ojačanog stanja je u tome što se zagrevanjem, pri određenom porastu temperature i vremena zadržavanja, u manjem ili većem stepenu izgubi (rekristalizaciono žarenje). Kod feritnih, poluferitnih i martenzitnih čelika sposobnost deformisanja je niža, zbog čega nije dozvoljen tako veliki stepen deformisanja. Kod austenitnih i austenitno-feritnih čelika za jako hladno ojačavanje sile deformisanja su znatno veće nego kod normalnih čelika. To zahteva alate odgovarajuće snage i maziva (podmazivanje). Obično se koriste specijalna maziva.

#### Obrada skidanjem strugotine

Kod oblikovanja mehaničkom obradom feritni i poluferitni čelici se mogu uporediti sa legiranim čelicima za cementaciju. Slično se ponašaju i martenzitni čelici. Čelici sa C<0,3% mogu se obrađivati u poboljšanom stanju, a čelici sa C>0,3% u meko žarenom stanju. Kod austenitnih, austenitno feritnih i feritno austenitnih čelika problemi su veći; uzrok je jako hladno ojačavanje i mala toplotna provodljivost, što dovodi do gubljenja rezne sposobnosti i jakog pregrevanja reznog alata. Ako su ovi čelici u kvalitetu čelika za automate (povećan sadržaj S), problemi su nešto manji, ali je koroziona otpornost ovih čelika manja. Kao alatni čelik za obradu treba koristiti tvrdi metal. Mašinske testere su od brzoreznog čelika. Zbog jakog zagrevanja prednost je u primeni hlađenja. Kao rashladno sredstvo se koriste specijalne emulzije.



### Termička obrada

Kod svih vrsta termičkih obrada moguć je nastanak kovarine i obrazovanje Cr karbida. Ako se hladno deformisani delovi sa odgovarajućim stepenom deformacije (kritični stepen deformacije) naknadno rekristalizaciono žare, može da nastane obrazovanje grubog zrna. Treba uzeti u obzir preporuke u odgovarajućim normama proizvodnje.

### MERE POSLE ZAVARIVANJA

Za poboljšanje čistoće i izgleda površine nadvišenje zavarenog šava se može prebrusiti. Pri grubom brušenju se povećava opasnost od nastanka prslina usled naponske korozije, o čemu treba voditi računa. Brušenjem se takođe može otkloniti termički oksid i obojenje. Bajcovanjem (nagrivanjem) sa pastama ili u kupatilu (uz zaštitu okoline - ventilacija) može se otkloniti termičko obojenje, termički oksid i strani opiljci. Isti efekat je čišćenje mlazom staklenih kuglica, pri čemu se istovremeno smanjuje osetljivost na prsline usled naponske korozije, jer na površini nastaju pritisni naponi.

Ispravljanje plamenom Ispravljanje plamenom nerđajućih čelika je moguće i u praksi se izvodi. Pri tome ipak treba voditi računa da ako plamen nije neutralan, kod viška gasa može nastati

naugljeničenje i obrazovanje Cr karbida. Ako se ovo desi tačka grejanja će imati manju otpornost na IK. Zbog toga plamen treba egzaktno podesiti. Temperatura tačke grejanja po mogućnosti treba da bude niža. Sva termička obojenja treba odstraniti. Da bi se otklonila opasnost od obrazovanja izlučivanja mora se vreme grejanja i temperatura grejanja tako podesiti da ispravljanjem vitoperenja ne nastanu sopstveni naponi.

Hemijska obrada površine Pre hemijske ili termičke obrade (npr. bajcovanja-nagrivanja, žarenja) površina se mora odmastiti uobičajenim organskim rastvaračima ili u kupatilima za elektrolitičko odmašćivanje. Uklanjanje obojenja, kovarine itd. je obično nagrivanjem (bajcovanjem). Preporučuje se bajcovanje u kupatilima, često mehanizovano elektrolitičko bajcovanje.

Kod feritnih i martenzitnih čelika kod bajcovanja mogu da nastanu prsline i mehuri indukovani vodonikom. Neposredno posle bajcovanja materijal hemijski nije otporan, jer je sa površine uklonjen zaštitni oksidni sloj. Ipak, novi oksidni sloj se na vazduhu relativno brzo obrazuje. Ako se neposredno posle bajcovanja očekuje korozija, posle bajcovanja se mora primeniti pasivizacija. Uspešna pasivizacija je sa HNO<sub>3</sub>. Pri tome nastaje blago dejstvo nagrivanja.

### OCENA TIPA OSNOVNOG MATERIJALA

Struktura (npr. prema Šefleru):	- feritni; - poluferitni; - austenitno feritni; - austenitni sa udelom ferita; - potpuno austenitni čelik.
Maksimalni sadržaj C:	- >0,07% X10...; - nestabilizovani (bez Ti ili Nb); - stabilizovani (sa Ti ili Nb); - <0,07% X5...; - <0,03% X2...
Sadržaj Mo:	sa / bez Mo

### PREPORUKE ZA PRISTUPE OCENI KOROZIONO OTPORNIH ČELIKA

Materijal	Problemi zavarivanja
feritni	mala deformabilnost;
poluferitni	hladne prsline
feritno-austenitni	manje
austenitno-feritni	bez- dobra deformabilnost
potpuno austenitni	dobro- deformabilan, ipak vruće prsline

### OČEKIVANI PROBLEMI KOD ZAVARIVANJA

#### ČELICI OTPORNI NA PUZANJE

Otpornost na puzanje austenitnih čelika zasniva se na sprečavanju difuzionih procesa na visokim temperaturama visokim legiranjem metalne matrice, bez ili sa dodatnim ojačavanjem preko dispergovanih karbida i karbonitrida. Razlikuju se tri tipa austenitnih čelika otpornih na puzanje: Tip 1, Cr-Ni čelici kod kojih je otpornost na puzanje samo

na osnovu visokolegiranog austenita, sa niskim sadržajem C (ispod 0,1%) i N (0,2%), austenitno kaljeni, za obezbeđenje čvrstog rastvora visoke legiranosti. Otpornost na puzanje imaju na radnim temperaturama 550-600 °C. Tip 2, Cr-Ni čelici visoke legiranosti sa dodatnim karbidnim ojačavanjem austenitne osnove. To su čelici sa povišenim sadržajem C (0,1-0,2%). Termičko



stanje je austenitno kaljeno u cilju obezbeđenja čvrstog rastvora visoke legiranosti i disperzne građe karbida.

Otpornost na puzanje imaju na radnim temperaturama 600- 800 °C. Tip 3, Cr-Ni čelici visoke legiranosti sa dodatnim karbidnim ojačavanjem i intermetalnim ojačavanjem, dodatno legirani sa Mo, V, Nb, Ti, koji obrazuju specijale karbide i intermetalna jedinjenja. Termičko stanje je austenitno kaljeno i stareno. Otpornost na puzanje imaju na radnim temperaturama 700- 900 °C. Područja ovih čelika naznačena su šrafurom u Šeflerovom dijagramu za namenu visokolegiranih čelika (sl.5).

### ZAVARIVANJE AUSTENITNIH ČELIKA OTPORNIH NA PUZANJE

Dodatni materijali su istorodni sa tipom osnovnih materijala. Zavarivanje stabilizovanih austenitnih čelika visoke toplotne postojanosti zahteva posebnu pažnju. U obzir treba uzeti posebno dva momenta. Visoka legiranost ovih čelika oštro smanjuje toplotnu provodljivost, što utiče na lokalno pregrevanje. Suviše velika i pregrejana zavarivačka kupka lako dovodi do pojave vrućih prslina u ZUT i metalu šava. Zato zavarivanje treba izvoditi postupkom i parametrima sa manjim unosom toplote (MIG, tanke žice). Kod ručnog elektrolučnog zavarivanja obloženom elektrodom prečnik elektrode treba ograničiti na maksimalno 4mm, a zavarivanje izvoditi sa kratkim lukom i sa blagim njihanjem, ne većim od 3x prečnika jezgra elektrode. Po mogućnosti treba zavarivati sa prekidima dužine zavara. Međuslojnu temperaturu od 300-350°C ne treba prekoračiti. Predgrevanje se u većini slučajeva ne preporučuje. Kod zavarivanja debljina > 25 mm preporučuje se primena predgrevanja na temperaturi 100-200°C. Termička obrada posle zavarivanja u većini slučajeva nije potrebna. Samo kod debelozidnih delova složenog oblika, i kada se pretpostavljaju nepovoljni uslovi eksploatacije, preporučuje se žarenje za smanjenje napona na temperaturi 500-550°C.

### VATROOTPORNI ČELICI

Smatra se da je čelik vatrootporan do jedne određene temperature ako posle 120 časovnog držanja na toj temperaturi pri ispitivanju na opterećenje na vazduhu ne izgubi više od 1g/m<sup>2</sup>h metala. Sa povećanjem temperature od oko 50 °C gubitak metala može da iznosi samo 2g/m<sup>2</sup>h. Za rad na visokim temperaturama sa zahtevima vatrootpornosti, i otpornosti na stvaranje kovarine (termički oksid) potreban je još veći sadržaj Cr i dodatno legiranje sa Al i Si. Kod vatrootpornih čelika i čelika otpornih na nastanak kovarine, visoki

sadržaji Al i Si usporavaju i pomeraju rast zrna ka višim temperaturama. Uticaj Si na vatrootpornost je oko 5x, a Al oko 2,5x jači od uticaja Cr. Međutim, učešće Al i Si mora da bude ograničeno do 1,8%, jer oba ova elementa u većem sadržaju utiču na pojavu krtosti. To su tipovi vatrootpornih austenitnih Cr-Ni-Si čelika i čeličnog liva, austenitno-feritnih i feritnih čelika, sa sadržajem Cr do oko 30%, i dodatno legiranih sa Al i Si.

Područje ovih čelika šrafurom su naznačena u Šeflerovom dijagramu za namenu visokolegiranih čelika.

### AUSTENITNI VATROOTPORNI ČELICI

Pored visokog %Cr i odgovarajućeg %Ni (tipovi 16/13 ili 25/20), sadržaja C do 0,15% i sadržaja Ni (za smanjenje izlučivanja karbida i intermetalnih jedinjenja), pre svega su legirani i sa Si (Cr-Ni-Si čelici). Zadržavaju mehaničke osobine i otpornost na stvaranje kovarine do blizu 1000°C. Prisustvom u gasu primesa (sastojaka sa sadržajem sumpora, vodene pare ili pepela) ova otpornost se može jako sniziti. Kod čisto austenitnih čelika, zbog jako izražene kristalne segregacije (razlaganja legirajućih elemenata u posebna zrna) nastaje pojačana opasnost od obrazovanja vrućih prslina. Primena dodatnog (i osnovnog) materijala sa udelom δ ferita od 3-8% znatno umanjuje opasnost od vrućih prslina. Fino raspoređena primarno očvrsla δ zrna deluju kao kristalizacione klice; zbog finijeg zrna nastajući film po granicama zrna (karbidi) je tanji, a time i elastičniji. Povećan udeo δ ferita jako ubrzava obrazovanje sigma faze i smanjuje otpornost na interkristalnu koroziju.

### FERITNI VATROOTPORNI ČELICI

Feritni vatrootporni i otporni na kovarinu čelici (Cr čelici +Al ili Si), kao npr. X10CrAl24; X10CrSi18, pokazuju dobre mehaničke i tehnološke osobine kod kratkotrajnog i dugotrajnog opterećenja, pri istovremenoj otpornosti ka vrelim gasovima, produktima sagorevanja, kao i sonim i metalnim rastopima. Takođe su postojani na dimne gasove koji sadrže sumpor. U zavisnosti od sadržaja legirajućih elemenata najviša temperatura primene dostiže do oko 1150 °C. Za ocenu sposobnosti za zavarivanje δ feritnih čelika treba uzeti u obzir sledeće:

- Kod čelika strukture potpuno δ ferita nema zakaljivanja;
- Nema osetljivosti ka nastanku vrućih prslina;
- Niska deformabilnost, ali dovoljna duktilnost kod tanjih preseka (do 12mm). Superferitni čelici su nešto veće deformabilnosti nego feritni i poluferitni čelici.



- Kod temperatura iznad 1000°C dolazi do pojačanog rasta zrna. Pošto se osobine žilavosti feritnih čelika zasnivaju na sitnozrnoj strukturi, porastom zrna nastaje pojačano opadanja žilavosti. Pošto se nastanak grubog zrna, i usled toga smanjena žilavost, ne može popraviti naknadnom termičkom obradom (nepostojanje fazne transformacije) zavareni spojevi feritnih Cr čelika u prelaznoj zoni šava su povećane osetljivosti na zarez.

- Kod vatrootpornih čelika i čelika otpornih na nastanak kovarine, visoki sadržaji Al i Si usporavaju i pomeraju rast zrna ka višim temperaturama.

- Udarne žilavost opada sa porastom sadržaja Cr i Mo zbog izlučivanja karbida. Pri temperaturama ispod 900 °C (650-800 °C) pri polaganom hlađenju pojavljuje se nova faza, intermetalno jedinjenje Fe i Cr, sigma faza.

Sigma faza nastaje samo u određenom temperaturnom području i ako čelik sadrži više od 18 do 20% Cr. Dodatkom Si, Mn i Mo granica nastanka sigma faze se pomera ka nižim sadržajima Cr, dok C i Ni imaju suprotan uticaj.

Prisustvo sigma faze snižava duktilnost i žilavost metala šava. Zbog svoje izrazito velike tvrdoće i krtosti, u opštem slučaju je nepoželjna u hromnim čelicima.

- Kod dugog žarenja između 400-550 °C opadanje žilavosti, zbog krtosti na 475°C. Ova krtost nastaje usled jednofaznog razlaganja, bez izlučivanja, sa pojavom izrazite krtosti materijala koja se manifestuje porastom tvrdoće, porastom prelazne temperature krtosti i sniženjem korozijske otpornosti. Smatra se da je uzrok ove krtosti nastajanje koherentnih, kompleksnih, čisto hromnih i FeCr mešanih kristala. Sreće se kod feritnih Cr čelika, kod dugog vremena žarenja u temperaturnom području između 400 i 550 °C. Otklanja se žarenjem na 600 °C i ubrzanim hlađenjem (povratna krtost) kroz kritično područje nastanka krtosti.

- Visoki unutrašnji naponi, zbog relativno višeg napona tečenja i snižene toplotne provodljivosti.

- Iako zbog niže žilavosti feritni čelici naginju nastanku hladnih prslina, njihova sposobnost zavarivanja se može oceniti kao dovoljno dobra.

## ZAVARIVANJE

Vatrootporni feritni čelici, otporni na stvaranje kovarine, zbog visoke toplotne postojanosti, u uslovima unosa toplote usled zavarivanja, manje su

osetljivi na nastanak struktura izlučivanja ili porastu zrna. Pošto je krtost ovih čelika nešto veća, zahtevaju određene mere pri zavarivanju:

- Predgrevanje na 100 do 300 °C, čime se površinskom preraspodelom temperatura smanjuju termički i sopstveni naponi i umanjuje pad žilavosti u ZUT. Kod debljina ispod 2-4mm, u mnogim slučajevima ne mora se primeniti predgrevanje.

- U principu smanjenje pogonske energije zavarivanja, odnosno primena tehnike nanošenja pravih prekidnih zavara (bez njihanja), tanke elektrode (mala jačina struje), čime je materijal što je moguće kraće vreme u području visokih temperatura, a da bi se umanjilo ogrubljenje zrna i dalje povećanje krtosti usled nastanka izlučivanja.

- U principu posle zavarivanja, da bi se poboljšala žilavost i umanjili naponi usled zavarivanja, preporučuje se otpuštanje između 700-850 °C. Da bi se umanjila moguća difuzija C i opasnost od nastanka interkristalne korozijske, vreme žarenja je kratko, između 15 min (stabilizovani čelici) i 60 min. Da bi se sprečio nastanak sigma ( $\sigma$ ) i ksi ( $\chi$ ) faze hlađenje je odgovarajuće brzo.

## DODATNI MATERIJALI ZA ZAVARIVANJE FERITNIH I POLUFERITNIH ČELIKA

U principu kod izbora dodatnog materijala mogući su sledeći pristupi:

Feritni dodatni materijal Prednost je iste hemijske i mehaničke osobine osnovnog materijala i metala šava. Nedostatak je mala deformabilnost metala šava, relativno visok napon tečenja.

Austenitni dodatni materijal Prednost je metal šava dobre deformabilnosti sa nižim naponom tečenja (smanjenje sopstvenih napona).

Austenitno-feritni (dupleks) dodatni materijal Austenitno-feritni dodatni materijali su sa 25-30 %Cr i 4-6 %Ni. U novije vreme ovaj koncept se često primenjuje. Preko smanjenja udela Ni hemijska otpornost (npr. na dimne gasove koji sadrže S) još je relativno slična feritnim čelicima. Razlika u toplotnom izduženju nije tako velika, a metal šava je značajno bolje deformabilnosti.

Pokrivni sloj feritni - međuslojevi austenitni dodatni materijal Ovaj izbor se može primeniti samo kod delova veće debljine (šavovi većih preseka). Prednost je deformabilniji metal šava, izostaje nastanak sopstvenih napona; ista hemijska otpornost i iste mehaničke osobine pokrivnog sloja. Nedostatak je različito toplotno izduženje međuslojeva i pokrivnog sloja.



Savetovanje su podržale firme: DUCTIL Air Liquide Welding iz Rumunije, ELIMP doo Beograd, Kontrol Inspekt, REFIT Inženjering, NEMINIK i HONEX.

### Sponzori - Presentacije...



DUCTIL Air Liquide Welding



Kontrol Inspekt



Elimp

**REFIT**  
**INŽENJERING**



Neminik

 **HONEX**



Zajednička fotografija učesnika savetovanja nakon izleta brodom do Golubačke tvrđave

Očekujemo da će naše naredno, jubilarno 30. savetovanje izazvati bar ovoliko zadovoljstva svih nas-učesnika, sponzora i organizatora.



## MEĐUNARODNO TAKMIČENJE ZAVARIVAČA „ARC CUP“ 2016 – PEKING

U periodu od 17-22.06.2016. održano je 4. međunarodno takmičenje zavarivača službenog naziva „ARC CUP“ 2016.

Takmičenje je održano u Pekingu u Gu'an pokrajini Hebei u organizaciji Beijing ARC Xinxing Science & Technology Co., Ltd., i uz pomoć China Machinery Industry Federation čiji pogoni su potpuno adekvatni za ovakvu vrstu događanja.



Proizvodni pogon China Machinery Industry Federation

„Arc Cup“ takmičenje podršku je dobilo i od Međunarodnog Instituta za zavarivanje (IIW).

### Otvaranje takmičenja



Dr. Zhenying Liy, predsednik organizacionog odbora međunarodnog takmičenja zavarivača



Chris Smallbone, predsednik radne grupe za regionalnu saradnju

Ekipu koja je predstavljala našu zemlju na 4. međunarodnom takmičenju zavarivača činili su takmičari: Jelena Aćimović 1998 god. (postupak 111) učenica tehničke škole Kolubara iz Lazarevca, Nenad Aćimović 1998 god. (postupak 111) učenik tehničke škole Kolubara iz Lazarevca, Stefan Vasilić 1998 god. (postupak 141) učenik tehničke škole iz Obrenovca, Danijel Despotović 1998 god. (postupak 135) učenik tehničke škole iz Obrenovca, Dušan Đalović 1996 god. (postupak 135) zaposlen u preduzeću Alfa Technics iz Kragujevca, i pratioci: Ivan Gajić-profesor tehničke škole Kolubara iz Lazarevca, Vesna Jović-tehnički sekretar DUZS-a, Nikola Šormaz-član upravnog odbora DUZS i trener ekipe, Branislav Lukić-član upravnog odbora DUZS, vođa ekipe i sudija na takmičenju.



Naša ekipa na otvaranju takmičenja

Ukupno je učestvovalo 304 takmičara iz 59 ekipa uključujući i ekipe iz 24 zemlje: Australije, Belorusije, Bugarske, Nemačke, Kine, Kazahstana, Gane, Češke, Rumunije, Mongolije, Vijetnama, Južne Afrike, Portugala, **Srbije**, Ukrajine, Indije, Rusije, Južne Koreje, Tajlanda, Singapura, itd., 17 ekipa iz preduzeća u državnom vlasništvu Kine, kao i 15 ekipa stručnih koledža iz Kine. Tokom samog takmičenja više od 700 gostiju iz zemlje i inostranstva su bili uključeni u razne aktivnosti vezane za samo takmičenje.

2016(第四届)北京“嘉克林”国际焊接技能大赛·2016先进制造技术与技能国际研讨会暨耐磨材料及抗磨损技术国际研讨会  
2016 (4th) Beijing "Arc Cup" International Welding Competition • 2016 International Conference on Manutech & Skills and Wear-resistant Material & Technology



Grupna fotografija svih učesnika takmičenja

Samo takmičenje organizovano je u 6 kategorija: postupcima 311, 111, 135, 141, robotsko zavarivanje i zavarivanje gotovog proizvoda (sklop koji je trebalo završiti u kombinaciji postupaka 111, 141 i 136). Po postupcima, ukupan broj takmičara je bio: 26 takmičara u robotskom zavarivanju, 71 takmičar u postupku 141, 61 takmičar u postupku 111, 74 takmičara u postupku 135, 24 takmičara u postupku 311 i 36 takmičara je učestvovalo u zavarivanju gotovog proizvoda.

Osnova za izradu zavarenih spojeva: standard ISO 9606-1.

Uzorci koje je trebalo uraditi: cevi dimenzija  $\varnothing 60 \times 4$  i ploče debljine 5mm za postupke 311 i 141, a za postupke 111 i 135 trebalo je zavariti cevi  $\varnothing 133 \times 10$  odnosno ploče debljine 10mm.

Za svaki postupak takmičar je imao zadatak da za određeno vreme (postupak 111-180min, postupci 135 i 141 – 160min i postupak 311 – 140min) zavari 3 uzorka i to cevi sučeono u položaju PC, ploče sučeono u položaju PF i ploče ugaono u položaju PF.



Uzorci zavarenih spojeva cevi i ploča sa takmičenja

Sklop



Naši takmičari na „zadatku“



Nenad



Jelena



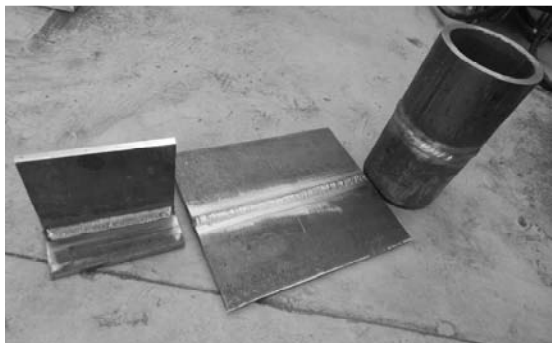
Stefan



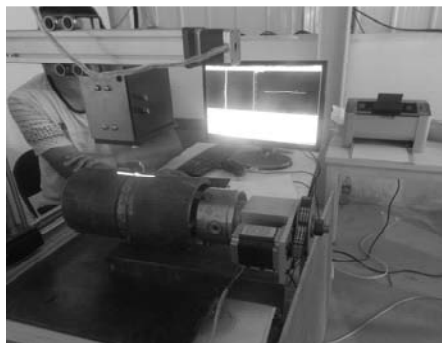
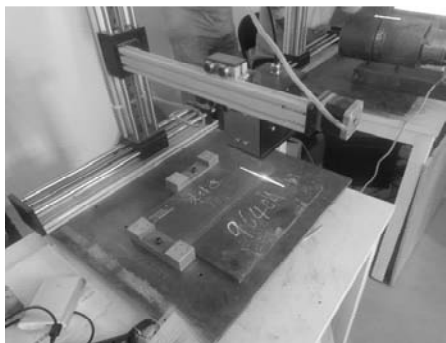
Danijel



Dušan



Zavareni spojevi Dušana Đalovića, jednog od naših takmičara



Ispitivanje spojeva

Zvanični rezultati takmičenja:

1.	Rumunija, CRRC	Zlatna medalja
2.	Mongolija, Kazahstan, Nemačka, CNOOC, PCCC, CNPC	Srebrna medalja
3.	Ukrajina, Belorusija, Singapur, <b>Srbija</b> , Tajland, Koreja, FAW group, CEEGC, CHNG, CDT, CASC	Bronzana medalja

Legenda: CRRC - China Railway Rolling Stock Corporation ; CNOOC - China National Offshore Oil Corporation ; PCCC - Power Construction Corporation of China ; CNPC - China National Petroleum Corporation (CNPC) ; FAW Group - vehicle manufacturing industry ; CEEGC - China Energy Engineering Corporation Limited ; CSSC - China State Shipbuilding Corporation ; CHNG - China Huaneng Group ; CDT - China Datang Corporatio ; CASC - China Aerospace Science and Technology Corporation



Naša ekipa na pobjedničkom postolju



Danijel, Nikola, Stefan, Jelena, Dušan



Rezultat koji nas je, malo je reći, iznenadio.

Ovim uspehom smo, da se tako izrazim, zaokružili jedan pokušaj afirmacije zavarivanja u srednjim školama, koji je započeo 2013. Godine u Obrenovcu prvim takmičenjem srednjih škola koje je organizovano od strane DUZS-a.

Podsećanja radi, tada je učestvovalo 19 takmičara iz 6 srednjih škola. Pobednici sa tog takmičenja su učesvovali na takmičenju „Mladi zavarivač“ u Essenu gde je bilo prisutno 14 zemalja sa ukupno 49 takmičara. Osvojena je bronzana medalja pojedinačno u postupku 311.

Dve godine kasnije, novembra 2015., na takmičenju u Lazarevcu bilo je prisutno 14 srednjih škola sa ukupno 48 takmičara. Na ovom takmičenju je selektovana ekipa koja nas je predstavljala u Pekingu i koja je osvojila ekipno 3. mesto.

Postignuti rezultati ne reflektuju, na žalost, sistemski rad koji bi za rezultat trebalo da ima veći kvalitet mladih zavarivača odškolovanih u našim srednjim školama, već predstavlja isključivo rezultat entuzijazma pojedinaca, kako ljudi koji su učestvovali u ovim poslovima, tako i samih takmičara, „klinaca“, kojima je izuzetno važno bilo da ostvare što bolji rezultat na našim takmičenjima, a još važnije da se pokažu i ne obrukaju i na međunarodnom nivou.

Hiljadu puta smo im rekli, a i ovde ću ponoviti, ne da se niste obrukali već naprotiv, učinili ste sve nas ponosnim i srećnim, što bi mladi rekli „onoliko“.

Na stranu rezultat, meni je lično izuzetna čast što sam imao priliku da nekoliko dana uživam u društvu pre svega izuzetnih mladih ljudi koji mogu biti samo na čast i ponos svojim porodicama.

Šta i kako dalje? U našoj državi to predstavlja jedno od onih pitanja koja zovu „pitanje za milion dolara“. Nastaviti dalje na ovaj način tj. da nekoliko pojedinaca obavlja sve po sistemu iz čuvenog filma Balkan Ekspres „bitte hilfe može malo gur gur“ je nemoguća misija i krakoročno može da daje neke rezultate ali dugoročno, nekog većeg efekta ne može da bude.

Želimo li da se ovo što je započeto pre par godina razvije i postane sistem, mora se uključiti država i stati iza ovakvih projekata.

Stoga i sa ovog mesta apel i poziv svima koji mogu da pomognu da nam se jave i da vidimo šta nam je za činiti kako se nešto pozitivno što je pokrenuto ne bi ugasilo i postalo još jedno od lepih sećanja.

Do tada, veliki pozdrav svima od nasmejane ekipe sa Kineskog zida



A što se finansijske i svake druge pomoći tiče po ko zna koji put želim da se zahvalim donatorima koji su nam pružili direktnu podršku za odlazak u Peking:

*JP EPS – OGRANAK TENT OBRENOVAC;  
JKP «TOPLOVOD» OBRENOVAC;  
GRADSKA OPŠTINA OBRENOVAC;  
STELIT 90 OBRENOVAC  
JP TOPLIFIKACIJA LAZAREVAC  
GIZ;  
INSTITUT ZA ZAŠTITU NA RADU A.D. NOVI SAD;*

*Velika zahvalnost i ostalima koji su nam podršku davali od prvog takmičenja organizovanog u Obrenovcu:*

*JP EPS – OGRANAK RB «KOLUBARA» LAZAREVAC; JP EPS – OGRANAK RB «KOLUBARA» – ORGANIZACIONA CELINA «KOLUBARA METAL»; RUDARSKI BASEN «KOLUBARA» D.O.O. LAZAREVAC; A.P. SIDRO D.O.O. BEOGRAD; ASBV TERMOTEHNIKA D.O.O. BEOGRAD; ICI DOO BEOGRAD; ELIMP DOO BEOGRAD; ENERGOTOK D.O.O. BEOGRAD; EURO HEAT D.O.O. KRAGUJEVAC; FIN IMPORT D.O.O. BEOGRAD; HONEX D.O.O. BEOGRAD; ISOPLUS D.O.O. BEOGRAD; KONMAT D.O.O. BEOGRAD; KONUS LAZAREVAC; MAJKIĆ D.O.O. INĐIJA; TERMOELEKTRO D.O.O.; IPC ENERGO STEEL DOO; STR FAVORIT OBRENOVAC; MESSER TEHNOGAS BEOGRAD AD; NDT-ZZ D.O.O. BEOGRAD-ZEMUN; NEMINIK D.O.O. BEOGRAD; PROFICUT D.O.O. BAČKI PETROVAC; TEHNIČKI CENTAR – INSPEKT D.O.O. OBRENOVAC; ZANUS PUMPE D.O.O. VALJEVO*

Branislav Lukić dipl.ing.IWE

## ČASOPIS ZAVARIVANJE I ZAVARENE KONSTRUKCIJE

### Cenovnik oglasnog prostora u četiri uzastopna broja 2016

	A4	2/2	1/1	1/2	1/4	1/8
dimenzije (mm)		2 x 210 x 297	210 x 297	180 x 120	90 x 120	90 x 60
DIN	crno/beli	-	39 000	23 000	16 000	10 000
	kolor	105 000	75 000	-	-	-

- U cene nije uračunat PDV 20%.
- Objavljivanje oglasa u samo jednom broju iznosi 30% od datih cena.
- Reklamni tekstovi: 25 % od cene površine crno/belih oglasa.
- Dostava materijala:
  - za crno-beli film ili CD (Adobe Photoshop / CorelDRAW);
  - za kolor film ili CD (Adobe Photoshop / CorelDRAW);
  - izrada filma sa CD: 10 % od cene angažovanog prostora.
- Na web prezentaciji DUZS-a, ([www.duzs.org.rs](http://www.duzs.org.rs)), na strani Marketing, objavljuje se pregled firmi-oglašivača sa podacima o glavnim grupama proizvoda/usluga i adresom web prezentacije. Svi posetioci naše web prezentacije mogu da posete i web prezentacije oglašivača, preko aktivnih linkova koji se nalaze na ovoj stranici!

## WELDING & WELDED STRUCTURES, Quarterly review

### Advertising prices for four successive numbers in 2016

	A4	2/2	1/1	1/2	1/4	1/8
dimensions (mm)		2 x 210 x 297	210 x 297	180 x 120	90 x 120	90 x 60
EUR	black/white	-	840	432	336	240
	colour	2 640	1 680	-	-	-

- VAT 20% included.
- Advertising in one number only is 35% of the given prices.
- Commercial articles: 30 % of black/white advertising price.
- Print material:
  - for black/white CD (Adobe Photoshop / CorelDRAW)
  - for color CD (Adobe Photoshop / CorelDRAW).
- All the visitors of our web site may be linked to the advertisers' web site.

## INDEKS OGLAŠIVAČA

### ADVERTISERS INDEX

REFIT INŽENJERING

YASKAWA SLOVENIJA

HONEX

ELIMP

ZAVOD ZA ZAVARIVANJE

MESSER

KEMPER GmbH

GSI SLV-SVV Praha, s.r.o. Centrum  
Lepeni Brno

WELD-ING

TERMOPROCES

- |  |               |
|--|---------------|
| 1. ČLANARINA DUZS za 2016. godinu .....  | 3.500 dinara  |
| Članovima DUZS <b>GRATIS</b> godišnje izdanje časopisa "ZAVARIVANJE I ZAVARENE KONSTRUKCIJE"                         |               |
| 2. ČASOPIS "ZAVARIVANJE I ZAVARENE KONSTRUKCIJE" - 2016. godina<br>u slobodnoj prodaji (u cene je uračunat PDV 10%): |               |
| ▪ cena pojedinačnog broja.....   | 825 dinara    |
| ▪ godišnja pretplata za 1 komplet brojeva godišnjeg izdanja.....   | 2.500 dinara  |
| 3. ČASOPIS - stari brojevi (u cene je uračunat PDV 10%)  |               |
| a) u slobodnoj prodaji:  |               |
| ▪ cena pojedinačnog broja za 2014. godinu .....  | 500 dinara    |
| ▪ cena pojedinačnog broja za prethodne godine.....   | 250 dinara    |
| b) beneficirane cene za članove DUZS:  |               |
| ▪ cena pojedinačnog broja za 2015. godinu (pouzećem ili preuzimanjem) .....  | 400 dinara    |
| ▪ cena pojedinačnog broja za prethodne godine (pouzećem ili preuzimanjem) .....                                      | <u>Gratis</u> |
| 4. Knjiga Organizacija i ekonomika zavarivačkih radova – autor: prof. dr Zoran Radojević (uračunat PDV 10%) .....    | 1.045 dinara  |
| 5. Zbirke standarda OBEZBEĐENJE KVALITETA U ZAVARIVANJU, komplet 4 toma  | 6.750 dinara  |