



# ZAVARIVANJE I ZAVARENE KONSTRUKCIJE

---

## WELDING & WELDED STRUCTURES

God. 61 Vol. 61	Br. 2 No. 2	2-96 2-96	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

- 53 ODREĐIVANJE UTICAJA ELEKTROMAGNETNOG POLJA APARATA ZA ZAVARIVANJE NA BEZBEDNOST I ZAŠTITU ZDRAVLJA DETERMINATION OF THE WELDING MACHINE ELECTROMAGNETIC FIELD EFFECT ON HEALTH SAFETY AND PROTECTION  
Mr Dušan Jovanić, dipl.ing, Zlatan Milutinović, dipl.inž.met, Marko Ristić, dipl. maš.inž.
- 63 PRILOG KONTAKTNOM MERENJU TEMPERATURE CONTRIBUTION TO CONTACT TEMPERATURE MEASUREMENT  
Miroslav S. Milićević, Tatjana M. Stojanović, Valentina M. Nejković,



## MIZ

## IIW

- 71 CTS OF RETAINED  $\delta$ -FERRITE ON CORROSION PROPERTIES FOR MODIFIED 9CR-1MO STEEL WELDS EFEKTI ZAOSTALOG  $\delta$ -FERITA NA KOROZIJU OSOBINE ZAVARENIH SPOJEVA OD MODIFIKOVANOG 9CR-1MO ČELIKA  
Sung-Yong Ahn, Myungjin Lee, Kyung-Mox Cho, and Namhyun Kang



## OBRAZOVANJE

## EDUCATION

- 75 *NERĐAJUĆI I VATROOTPORNII ČELICI -VRSTE, KARAKTERISTIKE, ZAVARIVANJE- (I DEO)*



## VESTI

## NEWS

- 52 SAVETOVANJE SA MEĐUNARODNIM UČEŠĆEM „ZAVARIVANJE 2016“ – DRUGO OBAVEŠTENJE I POZIV ZA DOSTAVU RADOVA
- 96 MARKETING

## **Poštovani čitaoci,**

**Poštovani,**

**u momentu zaključenja ovog broja, naša ekipa mladih zavarivača je pred ogromnim zadatkom da predstavi svoja zavarivačka umeća u dalekoj Kini pred svetskim auditorijumom. Ne želeći da utičemo na pretpostavke eventualnog plasmana, s obzirom da ovo ipak predstavlja bitku između Davida i Golijata, ispratimo ih sa najboljim željama i verom da će im iskustvo na takvoj manifestaciji biti dragoceno u njihovim daljim karijerama.**

**U ovom broju koji ne obiluje brojnošću tema, objavljujemo u rubrici "Obrazovanje" materijal koji se odnosi na nerđajuće i vatrootporne čelike, što je i jedna od tema na našim međunarodnim kursovima, te će na taj način „novajlije“ u našem poslu imati priliku da nauče, a iskusniji da se podsete te tematike.**

**Našu planiranu aktivnost - održavanje seminara sa temom vezanom za novi standard o termičkoj obradi zavarenih spojeva iz objektivnih i subjektivnih razloga, nažalost nismo sproveli u prvoj polovini godine, ali na raspolaganju nam je druga polovina.**

**Pred nama je, kao što je poznato, naše tradicionalno savetovanje, ovoga puta na Srebrnom jezeru, I aktivnosti na tom polju se intenziviraju. Očekujući da se tom prilikom sretnemo, opraštamo se sada sa željom da se prvo odmorite u ovim verovatno vrućim danima.**

**Do narednog broja...**

**S poštovanjem,**

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



**DRUŠTVO ZA  
UNAPREĐIVANJE  
ZAVARIVANJA U SRBIJI –  
DUZS**



member of



*European Federation for Welding,  
Joining and Cutting*

ORGANIZUJE

Savetovanje sa  
međunarodnim učešćem

**„ZAVARIVANJE 2016“**

**Poziv za dostavu radova**

**Datum održavanja:  
14 - 17 septembar 2016.**

**Mesto: Srebrno jezero, hotel  
„Danubia Park“**



**POZIV ZA PRIJAVU RADOVA**  
SLUŽBENI JEZICI SAVETOVANJA:  
SRPSKI I ENGLJSKI

**Prihvaćeni radovi uz dokaz o  
uplaćenju kotizaciji, treba da  
se pošalju do**

**15. 08. 2016**

**Molimo Vas da pošujete  
rokove!**

**Drugo obaveštenje i  
Program**

**20.08.2016.**

**Kotizacija** za učešće na  
savetovanju (uključen CD sa  
radovima) iznosi:

**80 €** u dinarskoj  
protivvrednosti za autore,

**120 €** za koautore i članove  
DUZS

**160 €** za one koji nisu  
članovi.

Preduzećima koja pošalju  
više od tri učesnika, 4. učesnik  
ne plaća kotizaciju.



**Dobro došli !**

**TEME SAVETOVANJA**  
**“ZAVARIVANJE 2016”**

**1. KONVENCIONALNI I  
NEKONVENCIONALNI  
POSTUPCI ZAVARIVANJA**

**2. OSNOVNI, DODATNI I  
POMOĆNI MATERIJALI**

**3. INTEGRITET  
KONSTRUKCIJA I  
OSIGURANJE KVALITETA**

**4. TEHNIČKA REGULATIVA,  
OBRAZOVANJE, EKOLOGIJA  
I ZAŠTITA**

**POZIV NA SPONZORSTVO**

***U vreme održavanja  
savetovanja proizvođači  
opreme i materijala za  
zavarivanje i IBR, kao i  
njihovi zastupnici, mogu da  
bude:***

**VELIKI SPONZORI** - (štant, 15  
minuta usmenog izlaganja, 2  
kotizacije gratis, podela  
propagandnog materijala - uz  
nadoknadu od 1000 EUR)

**SPONZORI** - (štant, 1 kotizacija  
gratis, podela propagandnog  
materijala - uz nadoknadu od 500  
EUR)



\*Mr Dušan Jovanić, dipl.ing \*\* Zlatan Milutinović, dipl.inž.met \*\*\*Marko Ristić, dipl. maš.inž.

# ODREĐIVANJE UTICAJA ELEKTROMAGNETNOG POLJA APARATA ZA ZAVARIVANJE NA BEZBEDNOST I ZAŠTITU ZDRAVLJA DETERMINATION OF THE WELDING MACHINE ELECTROMAGNETIC FIELD EFFECT ON HEALTH SAFETY AND PROTECTION

**Originalni naučni rad / Original scientific paper**

**UDK / UDC: 613.64;**

**331.45/.46:621.791**

**Rad primljen / Paper received:**

Jun 2016.

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

\*Visoka tehnička škola strukovnih studija u Zrenjaninu, Đorđa  
Stratimirovića 23, Zrenjanin,

e-mail: [dusan.jovanic@vts-zr.edu.rs](mailto:dusan.jovanic@vts-zr.edu.rs)

\*\* Institut GOŠA, Milana Rakića 35, Beograd,

e-mail: [zlatan.milutinovic@institutgosa.rs](mailto:zlatan.milutinovic@institutgosa.rs)

\*\*\* Institut GOŠA, Milana Rakića 35, Beograd,

e-mail: [marko.ristic@institutgosa.rs](mailto:marko.ristic@institutgosa.rs)

**Ključne reči:** bezbednost i zaštita na radu; REL zavarivanje; zavarivač; elektromagnetno zračenje; svetlosni zraci; infracrveni zraci; ultravioletni zraci

## Rezime

U radu je prikazan uticaj zračenja aparata za REL zavarivanje na bezbednost zavarivača i mere bezbednosti i zaštite zdravlja. Razmatran je uticaj svetlosnog, infracrvenog i ultraljubičastog zračenja, kao i uticaj i veličina elektromagnetnog zračenja na pojedine delove tela zavarivača, u toku zavarivanja i u praznom hodu i različitim režimima zavarivanja pri ručnom elektrolučnom postupku zavarivanja obloženom elektrodom (111) na REL aparatima za zavarivanje.

## 1. UVOD

Zavarivanje je sa stanovišta bezbednosti i zaštite zdravlja radnika visoko rizičan posao. Na 1000 radnika u zavarivanju i srodnim procesima u radnom veku javljaju se 4 smrtna slučaja [1]. Procesi zavarivanja praćeni su pojavama visokih temperatura, dima i prašine, zračenjem, opasnostima od električne struje, opasnostima od pada radnika ili pada predmeta sa visine, buke i dr. Sve ove pojave ili materije mogu štetno uticati na zdravlje zavarivača i drugih radnika, a predstavljaju i potencijalnu opasnost za nastanak materijalne štete. Osnovni zadatak u pogledu bezbednosti, zdravlja i zaštite je da se otklone ovi opasni uticaji zavarivanja. U toku procesa zavarivanja javljaju se svetlosni, infracrveni i ultraljubičasti zraci. Prisutno je i elektromagnetno polje čiji uticaj na ljudski organizam zavisi od jačine i frekvencije. Glavni izvori opasnosti pri elektrolučnom zavarivanju obloženom elektrodom su: električna struja, zračenje, zagađena atmosfera, i prskanje troske i metala. Zbog toga se preduzimaju odgovarajuće mere sigurnosti, koje su propisane zakonima i pravilnicima. Svaki zavarivač ima pravo i obavezu zaštite prema tim propisima.

**Key words:** safety and health; MMA welding; welder; electromagnetic radiation; light rays; infrared rays; ultraviolet rays.

## Abstract

In this paper the influence of the MMA welding machine based welding apparatus radiation on the welder's safety as well as the security and the protection measures have been presented. The influence of light, infrared and ultraviolet radiation as well as the impact of the electromagnetic radiation on the certain parts of the welder body during welding and idling have been considered where the different welding conditions in manual metal arc welding process with coated electrodes (111) on welding machine have been employed.

## 1. INTRODUCTION

Welding is with regard to safety and health of workers highly risky business. At the 1000 workers in welding and allied processes in working life appear 4 deaths [1]. Welding processes are accompanied by phenomena of high temperatures, smoke and dust, radiation, the dangers of electricity, the dangers of falling worker or objects falling from a height, noise and others. All these phenomena or matter may adversely affect the health of welders and other workers, and also the potentially threat to the destruction of public property. The main task of the safety, health and safety is to remove these hazardous effects of welding. During the welding process affects the light, infrared and ultraviolet rays. Presence of the electromagnetic field, and whose impact on the human body depends on the strength and frequency. The main sources of risk for arc welding coated electrode are: electricity, radiation, polluted atmosphere and splashing of slag and metal. Therefore, take appropriate safety measures, which are prescribed by laws and regulations. Every welder has the right and obligation to protect against these regulations.



Osnovna podrška radnicima data je u dokumentu **Zakon o bezbednosti i zdravlju na radu** gde je na osnovu čl.14 definisano da Organizacija mora da donese **Pravilnik o zdravlju i bezbednosti na radu**, sa kojim se uređuju prava, obaveze i odgovornosti i sprovodi bezbednost i zdravlje na radu lica koja učestvuju u radnom procesu. Pored ostalih, Pravilnik uređuje: Prava, obaveze i odgovornosti zaposlenih i obezbeđivanje i sprovođenje mera u vezi bezbednosti i zdravlja na radu, osposobljavanja zaposlenih iz oblasti bezbednosti i zdravlja na radu i provera stečenog znanja, utvrđivanje radnih mesta sa posebnim uslovima rada, korišćenje i održavanje sredstava lične zaštite na radu, održavanje sredstava rada, pregled i ispitivanje oruđa za rad, elektroinstalacija, postrojenja i radne sredine, utvrđivanje povreda radnih obaveza i drugih povreda radne discipline, preduzimanje mera u slučaju povrede na radu zaposlenih, evidencija iz oblasti bezbednosti i zdravlja na radu, obaveze prema inspekciji rada, način provere zaposlenih pod uticajem alkohola i drugih sredstava zavisnosti.

Zavarivač ima prava, dužnost i obavezu da se ponaša u skladu sa Pravilnikom, da koristi sva predviđena zaštitna sredstva i da zahteva od pretpostavljenih da obezbede uslove za bezbedan rad koji mu neće ugroziti zdravlje i život.

Internacionalni komitet za nejonizujuće zračenje (ICNIRP) je preporučio maksimalne vrednosti jačine električnog polja od 10 kV/m i magnetnog polja od 0,5  $\mu$ T za radne prostore (profesionalna izloženost) i 5 kV/m ili 0,1  $\mu$ T za javne prostore.

Obavljena su ispitivanja uticaja EM polja na pojavu malignih bolesti eksponovanih osoba. Nađena je povećana smrtnost od svih oblika leukemije i akutne leukemije kod odraslih hronično izloženih EM polju preko 0,3  $\mu$ T. Utvrđena je veća pojava karcinoma (preovladavaju tumori pluća, faringosa, digestivnog trakta, respiratornih sinusa, tiroidne žlezde, tumori nervnog sistema, limfomi i melanomi očiju i kože) kod radnika čije je zanimanje vezano za rad sa električnom strujom [7].

## 2. OPASNOST OD ZRAČENJA

U toku procesa zavarivanja javljaju se svetlosni, infracrveni i ultraljubičasti zraci. **Svetlosni zraci** dovode do trenutnog zaslepljenja i prouzrokuju zamor očiju i opasnost za dobar vid. Ovo zračenje je veoma neprijatno za radnike koji nisu zavarivači, ali rade u neposrednoj blizini ili pomažu zavarivaču kod pripajanja. Kod dugotrajnog izlaganja ovim zracima bez potrebne zaštite očiju, može se smanjiti sposobnost vida, pre svega u mraku.

Support workers is given in the document Law on Safety and Health at Work which is based on Article 14 stipulates that the organization must establish rules on health and safety at work, with regulating the rights, obligations and responsibilities and implement safety and health the work of persons involved in the work process. Among others, the Rules regulate: the rights, obligations and responsibilities of employees and ensuring the implementation of the measures regarding health and safety at work, training employees in safety and health at work and checking the acquired knowledge, identifying jobs with special working conditions, use and maintenance means of personal protection at work, maintenance of capital goods, inspection and testing of work equipment, electrical installations, installations and working environment, determining the violation of duties and other violations of labor discipline, taking measures in case of injury at work of employees, records of safety and health at work obligations under the labor inspectorate, way of checking employees under the influence of alcohol and other psychoactive substances.

Welder has the right, duty and obligation to act in accordance with the Regulations, to use all protective equipment provided and to request the superiors to provide conditions for safe operation that will not jeopardize his health and life.

The International Committee for Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP) has recommended a maximum value of electric field strength of 10 kV / m and magnetic fields of 0.5  $\mu$ T for workspaces (occupational exposure) and 5 kV / m or 0.1  $\mu$ T for public spaces. Examinations the influence of EM fields on the incidence of malignant disease in exposed persons. It was found increased mortality from all forms of leukemia and acute leukemia in adults chronically exposed to EM field of over 0.3  $\mu$ T. The higher occurrence of cancer (lung tumors predominate, pharynx, digestive tract, respiratory and sinus, thyroid, nervous system tumors, lymphomas and melanoma of the skin and eyes) among workers whose profession is related to work with electricity [7].

## 2. DANGER OF RADIATION

During the welding process affects the light infrared and ultraviolet rays. Light rays leading to the current dazzling and cause eye fatigue and danger to good vision. This radiation is very embarrassing for the workers who were not welders, or work in close proximity to or assist the welder during tack welding. With long-term exposure to these rays without proper eye protection can reduce the ability to see, especially in the dark.



**Infracrveni zraci** nisu vidljivi zraci, a čine ih elektromagnetni zraci talasne dužine 0,7–1,3 mikrometara. Ovo je najjača vrsta zračenja kod zavarivanja. Izaziva znojenje, crvenilo i kod dužeg izlaganja bez zaštite, zapaljenje kože. Ovo zračenje takođe suši očnu sluznicu i izaziva utisak suvoće. Pri dugotrajnom izlaganju uticaju ovog zračenja bez zaštite, nastaje poremećaj ocnog sočiva i toplotna nekroza (odumiranje) očne mrežnjače, što vodi ka oslepljenju.

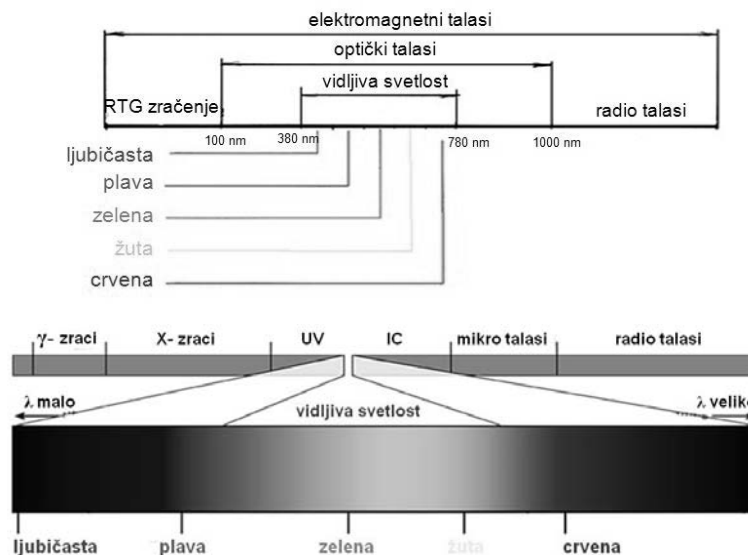
**Ultraljubičasti zraci** su nevidljivi i čine ga elektromagnetni talasi talasne dužine 0,2 – 0,4 mikrometara. Oni noću izazivaju utisak, kad se ne gleda direktno u električni luk, da je okolina zavarivača osvetljena svetlom pomalo ljubičaste boje. Ultraljubičasti zraci čine oko 5% od ukupne količine zračenja, ali su zato najopasniji.

Na sl. 1 se vidi da je vidljiva svetlost talasne dužine od 380 do 780 nm i ona je deo optičkog zračenja, a optičko zračenje je talasne dužine od 100 do 1000 nm i ono je deo elektromagnetnog zračenja, pored rentgenskog zračenja i radio talasa. Bela svetlost je mešavina različitih talasnih dužina, koje predstavljaju različite boje (ljubičasta, plava, zelena, žuta, crvena).

**Infrared rays** are invisible rays, and make them beam of electromagnetic wavelengths from 0,7 to 1,3 micrometers. This is the strongest type of radiation in welding. Causes sweating, flushing with longer exposure without protection, skin inflammation. This radiation also dries the mucous membranes of the eye and causes an impression of dryness. In the long-term impact of radiation exposure without protection, is associated with disorders of the eye lens and thermal necrosis (death) of the eye retina, leading to blindness.

**Ultraviolet rays** are invisible and make it to electromagnetic waves of wavelength 0.2 - 0.4 micrometers. They cause an impression at night, when not looking directly at the arc to the environment welders illuminated light little purple. Ultraviolet rays make up about 5% of the total amount of radiation, but they are the most dangerous.

In fig. 1 shows that the visible light wavelength of 380 to 780 nm, and it is part of the optical radiation, optical radiation has wavelengths from 100 to 1000 nm, and it is part of the electromagnetic radiation, in addition to X-ray radiation and radio waves. White light is a mixture of different wavelengths, which represent different colors (purple, blue, green, yellow, red).



**Figure 1. Electromagnetic waves**  
**Slika 1. Elektromagnetni talasi**

Ti kratkotalasni zraci prodiru u nezaštićenu kožu do 0,1mm, koja najpre pocrveni, a kasnije izgleda kao nakon obične opekotine. Ovi zraci izazivaju tamnjenje kože kao kod sunčanja, jer izazivaju intenzivnu pigmentaciju kože. Očna mrežnjača i rožnjača apsorbiraju ove zrake koji nakon nekoliko sati (kasnije, najčešće noću) izazivaju veoma intenzivan bol, kao da su oči pune vrućeg peska

These short-wave rays penetrate unprotected skin to 0.1mm, which first turns red, and then it looks like after a regular burns. These rays cause tanning at tanning because intenzivnu cause skin pigmentation. Eye retinas and corneas absorb these rays that after a few hours (later, usually at night) cause very intense pain, as if the eyes are full of hot sand.



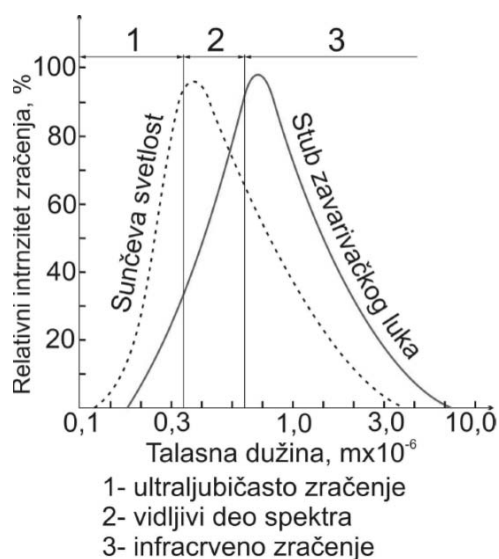
Nakon višekratnog uticaja ultraljubičastog zračenja nastaje jaka upala očnih kapaka sa jakim suzenjem, a u ekstremnim slučajevima čak i oštećenje očnog živca. Može da se pojavi čak i prolazno ili duže privremeno slepilo.

Ovo zračenje se odbija od metalnih površina i premaza na zidovima pa deluje i na radnike koji rade u blizini. Kako bi se odbijanje od zidova i metalnih površina smanjilo, potrebno je da električni luk bude udaljen od zidova najmanje 0,5m. Na sl.2. prikazana je razlika u talasnoj dužini svetlosnih, infracrvenih i ultraljubičastih zraka.

After repeated impacts of ultraviolet radiation produced severe inflammation of the eyelids with a strong tearing, and in extreme cases even damage to the optic nerve. It can occur even transient or longer temporary blindness.

This radiation is reflected from metal surfaces and coatings on the walls of works and workers who work nearby. In order to rebound from walls and metal surfaces reduced, it is necessary that the arc is removed from the walls of at least 0.5m.

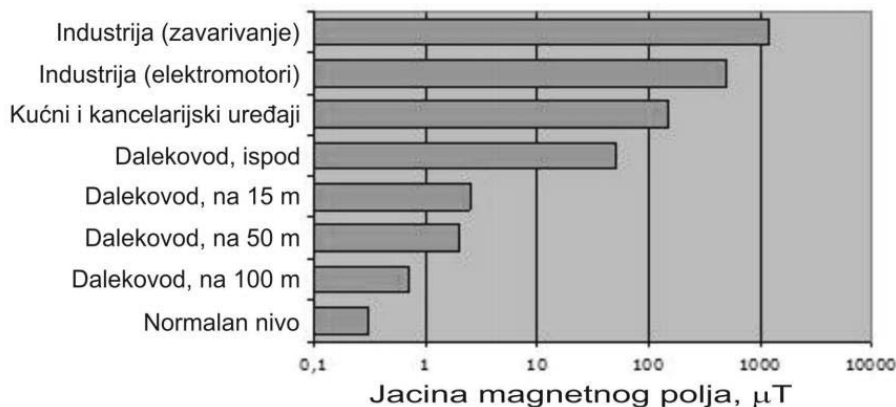
On fig.2. shows the difference in wavelength of light, infrared and ultraviolet rays.



**Figure 2.** The wavelength of light, infrared and ultraviolet radiation  
**Slika 2.** Talasna dužina svetlosnih, infracrvenih i ultraljubičastih zraka

Naizmenično elektromagnetno polje indukuje električnu struju u ljudskom telu u području srca i glave. Elektromagnetno polje izaziva iritaciju nervnog sistema i mišićnog tkiva. Statičko elektromagnetno polje izaziva mišićnu slabost. Uprkos intenzivnim istraživanjima još uvek nisu poznati dugoročni efekti prekomernog izlaganja elektromagnetnom polju. Na sl. 3. prikazana je jačina magnetnog polja kod pojedinih aparata.

Alternating electromagnetic field induces an electric current in the human body in the area of the heart and the head. The electromagnetic field causes irritation of the nervous system and muscle tissue. Static electromagnetic field causes muscular weakness. Despite intensive investigations are still unknown long-term effects of excessive exposure to electromagnetic fields. In fig. 3 shows the magnetic field strength in a particular apparatus.

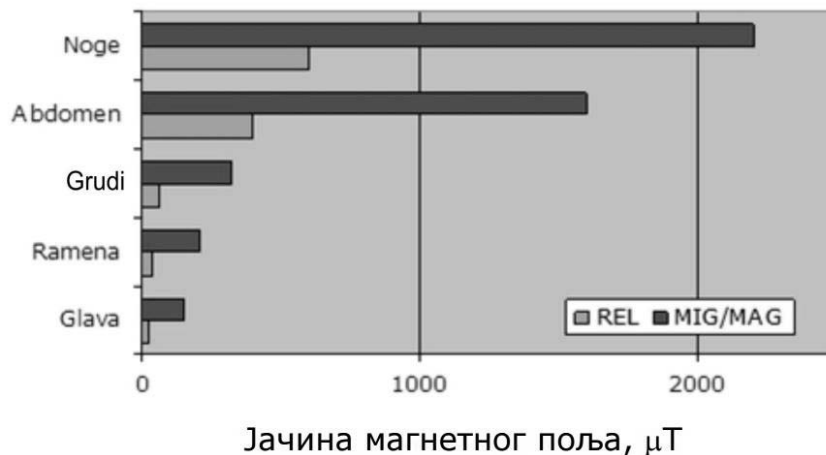


**Figure 3.** The strength of electromagnetic fields  
**Slika 3.** Jačina elektromagnetnog polja



Jačina magnetnog polja na pojedine delove tela zavarivača za REL (111)- ručno elektrolučno zavarivanje obloženom elektrodom, MAG (135) zavarivanje topljivom žicom u zaštiti aktivnog gasa i MIG (131) zavarivanje topljivom žicom u zaštiti inertnog gasa prikazana je na sl.4.

The strength of the magnetic field on certain parts of the body welder for MMA (111) - manual metal arc welding covered electrode, MAG (135) welding with meltable wire in the active gas protection and MIG (131) Welding with meltable wire in the inert gas protection is shown in Figure 4.



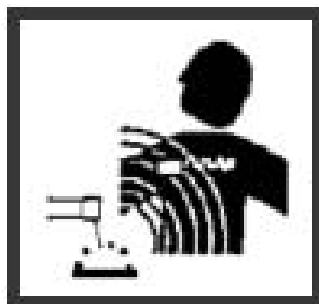
**Figure 4.** The effect of electromagnetic field strength MMA and MIG / MAG welding in various parts of the body  
**Slika 4.** Uticaj jačine elektromagnetnog polja REL i MIG/MAG zavarivanja na različite delove tela

### 3. RADIATION PROTECTION

Pre svega, da bi se znalo koji i koliki su rizici na pojedinim poslovima zavarivanja i koje se mere mogu preduzeti za smanjenje rizika neophodno je napraviti akt o proceni rizika u kome će se izvršiti procena rizika na radnim mestima i u radnoj okolini. Na sl. 5 prikazan je simbol opasnosti od zračenja.

### 3. ZAŠTITA OD ZRAČENJA

First of all, in order to know who and what are the risks to the individual operations of welding and what measures can be taken to reduce the risk, it is necessary to act on the risk assessment which will be carried out risk assessments in the workplace and in the working environment. In fig. 5 shows the symbol of the dangers of radiation.



**Figure 5.** The symbol of the dangers of radiation  
**Slika 5.** Simbol opasnosti od zračenja

Za smanjenje odbijanja ultraljubičastog zračenja potrebno je da električni luk bude više od 0,5 m udaljen od zida, a radno mesto odvojeno paravanima ili pregradama. Zavarivač mora biti zaštićen od opasnog zračenja električnog luka prikladnim odelom i zaštitnim naočarima sa filterom. Zaštita očiju od zračenja električnog luka je propisana u EN 619 pomoću filtera sa zaštitnim faktorom 8 (za mali luk) do 15 (za veliki luk) što je prikazano u tabeli 1 i tabeli 2.

To reduce rejection of ultraviolet radiation is necessary that the arc is more than 0.5 m away from the wall, a position separate screens or partitions. Welder must be protected from hazardous radiation arc suitable suit and goggles with filter. Eye protection from radiation electric arc is prescribed in EN 619 using filters with SPF 8 (for a small arc) to 15 (for a large arc) shown in Table 1 and Table.



Proces zavarivanja Welding process	Debljina elektrode (mm) Electrode diameter	Jačina struje (A) Current	OSHA min. Zaštitni broj Protecting number	ANSI & AWS preporučeni broj Recommended number
REL (111)	< 2,5	< 60	7	-
	2,5 - 4	60 - 160	8	10
	4- 6,4	160 - 250	10	12
	> 6,4	> 250	11	14

**Table 1.** Application of protective factors (darkening) for welding according to OSHA and ANSI & AWS  
**Tabela 1.** Primena zaštitnog faktora (zatamnjenja) pri zavarivanju prema OSHA i ANSI & AWS

Zaštitni faktor Protecting factor	Primena Application
3	Tvrdo lemljenje i elektrootporno zavarivanje Brazing and resistance welding
4,5	Pomoćne operacije pri zavarivanju Assistant activities during welding
6-8	Zavarivački luk I= 30-75 A Welding arc I= 30-75 A
9,10	Zavarivački luk I= 30-200 A Welding arc I= 30-200 A
11,12	Zavarivački luk I= 200-400 A Welding arc I= 200-400 A
13,14	Zavarivački luk I iznad 400 A Welding arc I under 400 A
15	Zavarivački luk I ekstremno velika Welding arc I extremely high

**Table 2.** Application protection factor (darkening) for welding  
**Tabela 2.** Primena zaštitnog faktora (zatamnjenja) pri zavarivanju

#### 4. USLOVI EKSPERIMENTA

- **Aparat:** Ispravljač LCH 375 Uljanik Pula, Transformator VEKA 400 LK Elektroda Zagreb i inverter Master MIS 2500 Kemppi,
- **Osnovni material i dimenzije:** Čelik S235JRG2 (SRPS EN 10025/03) #8x40x250 mm
- **Potrošni materijal:** Elektroda **E 433 R 21** (EN 499:94)
- **Vrsta spoja i Položaj zavarivanja:** Sučeoni- BW. Horizontalni- PA
- **Merna instrumentacija:** Magnetosmog TYP WKDA 02.705 (max. 4000 nT)

#### 4. EXPERIMENTAL CONDITIONS

- **Apparatus:** Rectifier LCH 375 Uljanik Pula, Transformer VEKA 400 LK Elektroda Zagreb and Inverter Master MIS 2500 Kemppi,
- **Base material and dimensions:** Steel S235JRG2 (EN 10025/03) # 8x40x250 mm
- **Consumables:** Electrode E 433 R 21 (EN 499: 94)
- **The type of joint and welding position:** butt weld- BW. Horizontal- PA
- **Measuring Instrumentation:** Magnetosmog TYP WKDA 02,705 (max. 4000 nT)



U tabeli 2 prikazane su jačine elektromagnetnog zračenja na udaljenosti od 1m i 2 m od ispravljača LCH 375 Uljanik Pula u radnom i praznom hodu.

Table 2 shows the intensity of electromagnetic radiation at a distance of 1 m and 2 m from the rectifier 375 LCH Uljanik Pula in working and idling.

Aparat za zavarivanje Welding apparatus	Režim rada Mode	Vrsta struje i polaritet Current and polarity	Režim zavarivanja Welding mode			Deo tela Body part	Jačina elektromagnetnog zračenja Electromagnetic radiation strength (nT)	
			Prečnik elektrode Electrode diameter $d_e$ (mm)	Jačina struje Current intensity I (A)	Napon Luka Voltage U (V)		Udaljenost od aparata Distance from apparatus 1m	Udaljenost od aparata Distance from apparatus 2 m
Ispravljač LCH 375 Uljanik Pula Rectifier	Radni režim Active	DC +	2.5	80	23	glava head	1220	880
						telo body	2000	1550
						noge legs	>4000	2580
Ispravljač LCH 375 Uljanik Pula Rectifier	Radni režim Active	DC +	3.25	110	24	glava head	1100	750
						telo body	1800	1500
						noge legs	>4000	3600
Ispravljač LCH 375 Uljanik Pula Rectifier	Radni režim Active	DC +	4	140	25	glava head	1300	1200
						telo body	2400	1700
						noge legs	>4000	3500
Ispravljač LCH 375 Uljanik Pula Rectifier	Prazan hod Idle	DC +	-	-	60	glava head	390	130
						telo body	910	180
						noge legs	1220	210

**Table 2.** Strength of electromagnetic radiation at a distance of 1 m and 2 m from the rectifier for welding in working and idling.

**Tabela 2.** Jačine elektromagnetnog zračenja na udaljenosti od 1m i 2 m od ispravljača za zavarivanje u radnom i praznom hodu.



Table 3 shows the intensity of electromagnetic radiation at a distance of 1 m and 2 m from the transformer VEKA 400 LK Elektroda Zagreb in working and idling.

U tabeli 3 prikazane su jačine elektromagnetnog zračenja na udaljenosti od 1m i 2 m od transformatora VEKA 400 LK Elektroda Zagreb u radnom i praznom hodu.

Aparat za zavarivanje Welding apparatus	Režim rada Mode	Vrsta struje i polaritet Current and polarity	Režim zavarivanja Welding mode			Deo tela Body part	Jačina elektromagnetnog zračenja Electromagnetic radiation strength (nT)	
			Prečnik elektrode Electrode diameter $d_e$ (mm)	Jačina struje Current intensity I (A)	Napon Luka Voltage U (V)		Udaljenost od aparata Distance from apparatus 1m	Udaljenost od aparata Distance from apparatus 2 m
transformator VEKA 400 LK Transformer	Radni režim Active	AC	2.5	80	23	glava head	>4000	>4000
						telo body	>4000	>4000
						noge legs	>4000	>4000
transformator VEKA 400 LK Transformer	Radni režim Active	AC	3.25	110	24	glava head	>4000	>4000
						telo body	>4000	>4000
						noge legs	>4000	>4000
transformator VEKA 400 LK Transformer	Radni režim Active	AC	4	140	25	glava head	>4000	>4000
						telo body	>4000	>4000
						noge legs	>4000	>4000
transformator VEKA 400 LK Transformer	Prazan hod Idle	AC	-	-	60	glava head	400	200
						telo body	670	450
						noge legs	530	330

**Table 3.** Strength of electromagnetic radiation at a distance of 1 m and 2 m from the transformer to the welding work and idling.

**Tabela 3.** Jačine elektromagnetnog zračenja na udaljenosti od 1m i 2 m od transformatora za zavarivanje u radnom i praznom hodu.



Table 4 shows the intensity of electromagnetic radiation at a distance of 1 m and 2 m from the inverter Master MIS Kemppi in working and idling.

U tabeli 4 prikazane su jačine elektromagnetnog zračenja na udaljenosti od 1m i 2 m od invertora Master MIS 2500 Kemppi Finska u radnom i praznom hodu.

Aparat za zavarivanje Welding apparatus	Režim rada Mode	Vrsta struje i polaritet Current and polarity	Režim zavarivanja Welding mode			Deo tela Body part	Jačina elektromagnetnog zračenja Electromagnetic radiation strength (nT)	
			Prečnik elektrode Electrode diameter $d_e$ (mm)	Jačina struje Current intensity I (A)	Napon Luka Voltage U (V)		Udaljenost od aparata Distance from apparatus 1m	Udaljenost od aparata Distance from apparatus 2 m
Invertor Master MIS 2500 Kemppi Inverter	Radni režim Active	DC +	2.5	80	23	glava head	190	170
						telo body	430	370
						noge legs	1200	660
Invertor Master MIS 2500 Kemppi Inverter	Radni režim Active	DC +	3.25	110	24	glava head	210	200
						telo body	460	400
						noge legs	970	880
Invertor Master MIS 2500 Kemppi Inverter	Radni režim Active	DC +	4	140	25	glava head	450	330
						telo body	1100	610
						noge legs	1350	1200
Invertor Master MIS 2500 Kemppi Inverter	Prazan hod Idle	DC +	-	-	60	glava head	120	100
						telo body	70	50
						noge legs	180	160

**Table 4.** Intensity of electromagnetic radiation at a distance of 1 m and 2 m from the inverter in working and idling

**Tabela 4.** Jačine elektromagnetnog zračenja na udaljenosti od 1m i 2 m od invertora za zavarivanje u radnom i praznom hodu.



## 5. ZAKLJUČAK

Na osnovu svega navedenog možemo zaključiti da sva zračenja koja se javljaju u procesu zavarivanja mogu izazvati štetne posledice po bezbednost i zdravlje zavarivača. Svetlosno, infracrveno i ultraljubičasto zračenje se može sprečiti i uspešno otkloniti njihov štetan uticaj korišćenjem adekvatne opreme za zaštitu na radu.

Što se tiče elektromagnetnog zračenja uočljivo je da je ono kod REL aparata za zavarivanje višestruko veće od normalnog nivoa (oko 0,5  $\mu$ T). Merenja su pokazala da je EM zračenje višestruko veće kod starijih aparata odnosno transformatora i ispravljača, a da je znatno manje kod invertora.

Takođe je uočljivo da je jačina elektromagnetnog polja veća na nogama zavarivača u odnosu na glavu i telo i do 3 puta, dok sa povećanjem udaljenosti od izvora zračenja sa 1m na 2m opada intenzitet zračenja i do 50% u zavisnosti od režima zavarivanja.

## BIBLIOGRAPHY / LITERATURA

[1.] [www.osha.gov](http://www.osha.gov)-Occupational Safety and Health Administration

[2.] Pravilnik o bezbednosti mašina ("Sl. glasnik RS", br. 13/2010)

[3.] Machinery Directive 2006/42/EC 1/3

[4.] Pravilnik o električnoj opremi namenjenoj za upotrebu u okviru određenih granica napona (Sl.glasnik RS 13/2010) Sl.glasnik RS 13/2010)

## 5. CONCLUSION

Based on the foregoing, we can conclude that all the radiation that occur in the welding process can cause adverse effects on health and safety of welders. Light, infrared and ultraviolet radiation can be prevented and successfully treated their adverse impact using appropriate protection equipment at work.

As for the electromagnetic radiation it is evident that it is near to the welding MMA apparatus is multiple higher than normal levels (about 0.5  $\mu$ T). Measurements showed that the EM radiation is a multi-point higher in older appliance or transformer and rectifier, and it is significantly lower in the inverter

It is also evident that the strength of the electromagnetic field is greater at the legs of welders in over head and body up to 3 times, while with increasing distance from the source of radiation from 1m to 2m decreases the intensity of radiation and up to 50% depending on the welding regime.

[5.] [www.ram-rijeka.com](http://www.ram-rijeka.com)-Oprema za zavarivanje - Zaštitna oprema za zavarivanje

[6.] EN 60974-1:2012- Arc welding equipment. Welding power sources

[7.] Jovica Jovanović, Boris Đinđić, Dušan Sokolović, Dejan Krstić, Dejan Petković, Petar Babović and Ivana Marković - The damaging effects of exposure to extremely low frequencies of electromagnetic fields, Acta Medica Medianae 2010, Vol.49(1)



\*Miroslav S. Milićević, \*Tatjana M. Stojanović, \*\*Valentina M. Nejković,

## PRILOG KONTAKTNOM MERENJU TEMPERATURE

### CONTRIBUTION TO CONTACT TEMPERATURE MEASUREMENT

**Originalni naučni rad / Original scientific paper**

**UDK / UDC: 536.587:681.586;**

**Rad primljen / Paper received:**

Jun 2016.

**Glavne reči:** temperatura, termo par, metal, sonda, regulator

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

\*M. S. Milićević, Bul. Nemanjica 33/39, 18000 Niš;

e-mail: [lavmiro@eunet.rs](mailto:lavmiro@eunet.rs); tel. +381 63 8142370, 018238696

\* Visoka tehnička škola, Beograd

\*\* Elektronski fakultet u Nišu

**Key words:** temperature, thermocouple, metal, probe, regulator

#### ABSTRACT

In this paper will be processed using contact temperature measurement sensors with measuring place. Sensors in the work are the thermocouples suitable kind of metal that have been adopted already existing standards. Performs the description of the necessary theory, provide a transparent table and matching graphics for attained voltages were measured as a function of temperature.

#### 1. UVOD

Rad se bazira na korišćenju obimne literature [1-45], iskustvima autora rada u održavanju, razvoju i proizvodnji više tipova senzora i merno regulacionih sistema i uređaja za merenje i regulaciju temperature, gde je to prikazano u referencama [11-15,47-45], a deo toga će biti prezentovan u ovom radu.

Termoelektrična termometrija je zasnovana na čvrstom odnosu koji vezuje termo-elektromotornu silu sa termo-parovima i temperaturom koja se ispoljava.

Termo-parovi su široko korišćeni u raznim poljima nauke i tehnologije za merenje temperatura do 2500 °C. Iako imaju sposobnost da mere temperature i do -200°C, termo-parovi se ređe koriste pri merenju niskih temperatura od otpornih termometara. Kod visokih temperatura (preko 1300-1600 °C), termo-parovi se uglavnom koriste za kratkotrajna merenja.

Pored ostalih vrlina termo-parova, možemo navesti sledeće. Poprilično su tačni, lako čitljivi za

#### REZIME

U ovom radu će se obrađivati merenje temperature pomoću kontakta senzora sa mernim mestom. Senzori u radu su termoparovi pogodnih vrsta metala koji su usvojeni već postojećim standardima. Vršiti se opis potrebne teorije, daju pregledne tabele i odgovarajući grafici za postignute napone u funkciji merene temperature.

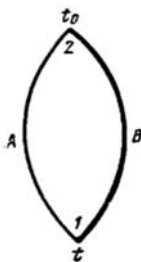
centralizovanu kontrolu temperature (više termoparova se može povezati sa jednim indikatorom ili kontrolerom preko selektivne preklopke), mogu davati konstante zapise o temperaturi kada se povežu na pisač, a mogu se i kalibrisati zasebno od indikatora ili kontrolera.

U prvom delu rada će se opisati elementarna teorija kontaktnog merenja temperature koja obrađuje uglavnom termoparove odnosno poznate kao i termospregovi.

#### 1.1 Osnovna teorija termoparova

Istorija termo-parova datira još iz vremena otkrića Seebeck-a 1821. godine da električna struja teče kroz zatvoreno kolo sačinjeno od dva različita metala ako su različite temperature na njihovim spojevima.

Primena Seebeck-ovog otkrića u termometriji je bazirana na činjenici da je termo-elektromagnetna sila povezana na poseban način sa temperaturama u spojevima dva različita metala.



**SI.1.1** Termoelektrično kolo stvoreno uz pomoć dve homogene žice različitih materijala ( $t > t_0$ )

Takvo kolo je prikazano na slici 1.1. A i B su dva različita metala (na primer bakar i platina), oba homogena po svojoj dužini, a  $t$  i  $t_0$  su temperature u spojevima. Kada se spoj 1 zagreje (spoj koji se meri tj. topli spoj), a spoj 2 se ostavlja hladan (referentni spoj tj. hladni spoj), struja počinje da teče, usmerena od B ka A kod toplog spoja, a od A do B kod hladnog spoja. Ako se spoj 2 zagreje, tok struje će promeniti smer. To je termoelektrična struja, a elektromagnetna sila koju prouzrokuje razlika temperatura se naziva termoelektromotorna sila. Uređaj koji je proizvodi se zove termo-par ili termoelektrični transdaktor.

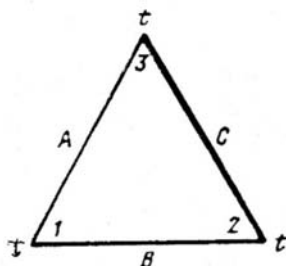
Mehanizam po kom se generiše termoelektromotorna sila se može objasniti sa stanovišta elektronske teorije o metalima. Ova teorija pretpostavlja da u metalima postoje slobodni „lutajući“ elektroni. Brojčana gustina ovih elektrona (broj elektrona po jedinici zapremine) se razlikuje od metala do metala. Zato se i koriste dva različita metala u spoju. Na primer, u spoju 1 na slici 1.1 to će se više dešavati od metala A ka metalu B, nego od metala B do metala A. Zato gustina slobodnih elektrona deluje na bilo kojoj temperaturi spoja,

elektromotorna sila je takođe generisana na bilo kojoj temperaturi, po jednačini

$$e_{AB}(t) = f(t) \quad (1.1)$$

se naziva kontaktna. Njena jačina i polaritet zavise od metala A i B i temperature  $t$  u njihovim spojevima.

Kao što je već navedeno, termo-struja počinje teći kružno u zatvorenom kolu sačinjenom od metala A i B (na primer, bakra i platine) kada  $t \neq t_0$  (pogledati sliku 1.1). Smer ove struje kod spoja 2 zavisi od polariteta provodnika i termoelektromagnetne sile. Provodnik iz kojeg teče struja u spoju gde je  $t_0 < t$  se smatra termoelektrično pozitivnim, a provodnik do kojeg teče struja u ovom spoju se smatra termoelektrično negativnim. U našem primeru, struja u spoju 2 teče od A do B (od bakra ka platini), tako da je provodnik A termoelektrično pozitivan u odnosu na provodnik B. Sekvenca u kojoj su dva provodnika zavisna od zakona termoelektromagnetne sile, na primer  $e_{AB}$ , odražava smer toka struje u smeru 2, tako da se prvo definiše termoelektrično pozitivni provodnik, a tek potom termoelektrično negativni provodnik.



**SI.1.2** Termoelektrično kolo stvoreno uz pomoć tri homogene žice različitih materijala

Kada se temperature u spojevima 1 i 2 izmene (vidi sliku 1.2) tako da je  $t_0 > t$ , smer struje u ovim spojevima se takođe menja, ali polaritet provodnika A ostaje nepromenjen, zato što u spoju 1 smer struje ostaje isti, tj. od A ka B. Po Voltinom zakonu, termo-struja ne može postojati u zatvorenom kolu sačinjenom od dva različita provodnika A i B, ako su temperature u njihovim spojevima iste  $t_0 = t$  i nema drugih izvora elektromagnetne sile koja bi delovala na kolo. Odatle se može zaključiti da su

elektromagnetne sile u spojevima 1 i 2 jednake, ali različitih polariteta, tako da je rezultujuća elektromotorna sila  $E$  jednaka nuli:

$$E_{AB}(t, t) = e_{AB}(t) + e_{BA}(t) = 0 \quad (1.2)$$

$$\text{Ili} \quad E_{AB}(t, t) = e_{AB}(t) - e_{BA}(t) = 0$$

Za zatvoreno kolo sačinjeno od tri različita homogena provodnika A, B i C (slika 1.2) čiji su spojevi na istoj temperaturi važi:



$$e_{AB}(t) + e_{BC}(t) + e_{CA}(t) = 0 \quad (1.3)$$

Kao što se vidi, zbir kontaktnih elektromotornih sila u zatvorenom kolu sa tri različita homogena provodnika, sa spojevima koji su na istoj temperaturi je jednak nuli.

Takođe,

$$e_{AB}(t) = e_{AC}(t) + e_{CB}(t). \quad (1.4)$$

To jest ako znamo veličinu kontaktne elektromagnetne sile u dva provodnika u odnosu na treću, možemo lako odrediti elektromagnetnu sliku između prva dva provodnika.

Voltin zakon može se primeniti na bilo koje zatvoreno kolo sačinjeno od mnogo homogenih provodnika A,B,C, ... M,N. Tada, ako su svi spojevi u kolu na istoj temperaturi, zbir kontaktnih termoelektromagnetnih sila će biti jednak nuli

$$e_{AB}(t) + e_{BC}(t) \dots + e_{MN}(t) + e_{NA}(t) = 0 \quad (1.5)$$

Polazeći od koncepta termalne elektromotorne sile, nije nemoguće da se javi razlika potencijala u samom homogenom provodniku, ako je razlika temperatura u ta dva dela provodnika  $dt$ . Uzimajući u obzir jednačinu (1.1), možemo zaključiti:

$$de = df(t)$$

Dakle, za homogeni provodnik nejednako zagrejanih delova, dobijamo:

$$e = \int de = \int_t^t df(t) = 0 \quad (1.6)$$

zato što su svi spojevi na istoj temperaturi  $t$ .

Kod otvorenih homogenih provodnika nejednako zagrejanih delova, razlika potencijala  $\Delta e$  se može javiti

$$\Delta e = \int de = \int_{t_1}^{t_2} df(t) = f(t_2) - f(t_1) \quad (1.7)$$

To isključivo zavisi od temperatura na krajevima, a i ne zavisi od temperature duž provodnika. Iz navedenog može se zaključiti da je termoelektromotorna sila generisana u termoelektričnom kolu jedina funkcija temperature u spojevima između različitih termoelektrično homogenih provodnika i da zavisi od temperature svakog od provodnika.

Uzimajući u obzir navedeno, možemo napisati sledeći jednačinu termo-parova:

$$E_{AB}(t, t_0) = e_{AB}(t) + e_{BA}(t_0) \quad (1.8)$$

Ili

$$E_{AB}(t, t_0) = e_{AB}(t) - e_{BA}(t_0) \quad (1.9)$$

Ili, drugim rečima, termoelektromagnetna sila termo-para je jednaka razlici u kontaktnim termalnim elektromagnetnim silama, ako su temperature u spojevima kola različite.

Podsetimo se (1.1) da možemo uvrstiti i (1.9) u jednu funkciju vezanu funkcijom

$$E_{AB}(t, t_0) = f(t) - f(t_0) \quad (1.10)$$

Sama forma jednačine  $E_{AB}(t, t_0)$  je vezana za funkciju  $e = f(t)$ . Kako sada stvari stoje, oblik ove funkcije se ne može potvrditi teorijski, već isključivo eksperimentalno.

Kada merenje temperature term-parom konstantno, ono može da varira. Pretpostavimo da je  $(t_0) = const.$  u jednačini (1.10) za određivanje  $(t_0) = c$  dobijamo

$$E_{AB}(t, t_0) = f(t) - c = F(t) \quad (1.11)$$

$$t_0 = const.$$

Direktno proizilazi iz jednačine (1.11) da termoelektromagnetna sila  $E_{AB}(t, t_0)$  termo-para se može tretirati kao nelinearna kontinualna funkcija od  $t$  izvedena, čija je

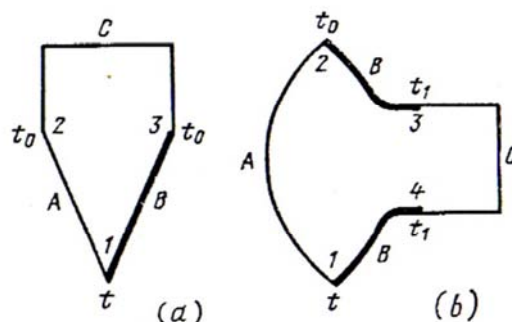
$$dE_{AB}(t, t_0)|dt = S_t \quad (1.12)$$

Vrednost  $S_t$  zavisi od materijala provodnika i opisuje osetljivost termo-para.

Kada je odnos  $E_{AB}(t, t_0) = F(t)$  samo malo nelinearan, može se smatrati da je linearan na pojedinim delovima. Onda  $dE_{AB}(t, t_0)$  i  $dt$  u jednačini (1.12) mogu se objasniti konačnim inkrementima  $\Delta E$  i  $\Delta t$ .

$$s_t = \Delta E / \Delta t \quad (1.12a)$$

Sada ćemo videti kako treći provodnik može da utiče na termoelektromagnetnu silu termo-para. Zamislite termo-par sačinjen od provodnika A i B koji su povezani za provodnikom C (slika 1.3).



**Slika 1.3** Kolo termo-para

a – sa trećom žicom C dodatom između slobodnih krajeva  
b – sa trećom žicom C koja je konektovana za žicu B termo-para

Temperatura u spoju 1 je  $t$ , a u spojevima 2 i 3 je  $t_0$ . Termoelektromotorna sila  $E$  za ovo kolo je podrazumevana kao

$$E = e_{AB}(t) + e_{BC}(t_0) + e_{CA}(t_0) \quad (1.13)$$

Kao prisećanje na (1.3) i (1.13) možemo napisati:

$$E = e_{AB}(t) - e_{AB}(t_0) \quad (1.14)$$

Ova jednačina u potpunosti odgovara sa (1.9) Sada ćemo ispitati termoelektrično kolo prikazano na slici 1.3b uz pretpostavku da se spojevi 3 i 4 održavaju na istoj temperaturi, onda dobijamo

$$E = e_{AB}(t) + e_{BC}(t_1) + e_{CB}(t_1) + e_{BA}(t_0) \quad (1.15)$$

Ovaj jednačina se lako može svesti na svedenu formu jednačine (1.9) elektromagnetna sila za termo-par se ne menja kada se treći provodnik uvede u kolo, pod uslovom da je temperatura na krajevima ovog provodnika ista. Na ovaj način može se dodati mnogo provodnika, ali to ne utiče na termoelektromotornu silu da svaki od njih na krajevima ima istu temperaturu.

Takođe, iz gore napisanih jednačina proizilazi da da vrući merni spojevi neće uticati na termo-par ako je njegova temperatura ista u bilo kom trenutku. Ovo važi za sve spojeve u tom kolu. Ipak, ako treći provodnik poseduje različite temperature lutajuća termoelektromotorna sila će se generisati, a njena jačina će zavistiti od materijala trećeg provodnika i temperatura na spojevima.

Na primer da je temperatura  $t$  na spoju 3 (kao na slici 1.3a), između provodnika C i B nije jednaka temperaturi  $t_0$  na spoju 2, a takođe  $t_0' > t_0$ . Tada će termoelektromotorna sila tog kola biti

$$E_1 = e_{AB}(t) + e_{BC}(t_0') + e_{CA}(t_0) \quad (1.16)$$

Ako oduzmemo jednačinu (1.16) od jednačine (1.9) dobijamo

$$E_{AB}(t, t_0) - E_1 = e_{CB}(t_0') + e_{BA}(t_0) + e_{AC}(t_0) \quad (1.17)$$

Koristeći jednačinu (1.3) možemo dokazati razliku između izraženih termoelektromotorna sila

$$E_{AB}(t, t_0) - E_1 = e_{CB}(t_0') - e_{CB}(t_0) = E_{CB}(t_0', t_0) \quad (1.18)$$

U gore navedenim jednačinama, sa desne strane je termoelektromotorna sila  $E_{CB}(t_0', t_0)$  generisan od strane termo-para CB čiji su spojevi pri temperaturi krajeva provodnika  $t$  i  $t_0$

Slično tome, recimo da se temperatura u kolu sa slike 1.2.3b razlikuje za provodnike B i C Tada će elektromotorna sila biti:

$$E_2 = e_{AB}(t) + e_{BC}(t_1) + e_{CB}(t_1) + e_{BA}(t_0) \quad (1.19)$$

Oduzimanjem jednačine (1.19) od (1.9) dobijamo

$$E_{AB}(t, t_0) - E_2 = e_{CB}(t_1) - e_{CB}(t_0) = E_{CB}(t_1, t_0) \quad (1.20)$$

To se vidi iz jednačine (1.18) i (1.20) tako da spojevi 2 i 3 (slika 1.3a) ili čvorišta 3 i 4 (slika 1.3b) su održavani na različitim temperaturama, termoelektromagnetne sile  $E_{CB}(t_0', t)$  ili  $E_{CB}(t_1, t_1)$  koje generiše termo-par u provodnicima C i B, više nego u originalnom termo-para.

## 2. OSNOVNO KORIŠĆENJE I POVEZIVANJE TERMOPAROVA

### 2.1 Povezivanje termo parova

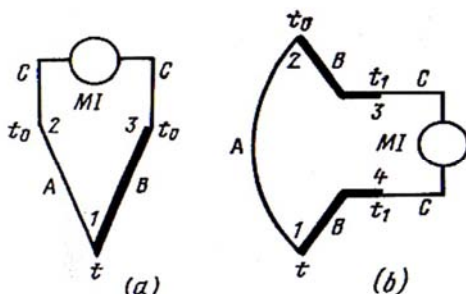
Kako bi se izmerila elektromotorna sila termo-para, instrument se mora uključiti u kolo. To se može obaviti ili kod spoja 2 (slika 1.1) ili unutar



provodnika B. U tom slučaju, instrument je spojen pomoću provodnika (slika 2.1).

U prvom slučaju, termo-par (slika 2.1a) će imati tri spoja: topao spoj na kojem se vrši merenje (1) koji je uronjen u medij koji treba meriti, hladan spoj (2) i spoj (3) koji moraju sa održavati na stalnoj

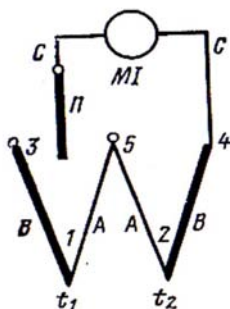
temperaturi. U sledećem primeru (vidi sliku 2.1b) termo-par ima četiri spoja, vruć (1), hladan (2), netrualne (3 i 4). Spojevi 3 i 4 moraju biti na istoj temperaturi, čija je apsolutna temperatura manje bitna.



**Slika 2.1** Uvođenje mernog instrumenta u kolo termo-para  
a - referentni spoj  
b – u žici termo-para

Iako se kolo sa slike 2.1a razlikuje od onog sa slike 2.1b, termo-par će generisati istu elektromotornu silu u oba slučaja, ako su provodnici A i B isto, i ako su temperature iste. To je zato što, kao što smo već

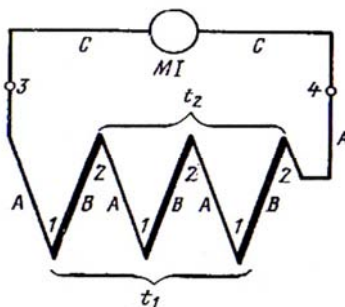
pokazali, termalna elektromotorna sila termo-para ostaje nepromenjena kada se uvede treći provodnik, sa spojevima na istim temperaturama.



**Slika 2.2** Uvođenje mernog instrumenta u kolo diferencijalnog termo-para

U nekim slučajevima je potrebno pronaći razliku u temperaturi. Razlika u temperaturi se može izmeriti termoparom, a tada se termopar zove diferencijal. Veza između mernog instrumenta i diferencijalnog termo-para je prikazana na slici 2.2. Merne spojeve 1 i 2 termo-para uranjamo u medij čije temperaturene razlike želimo da izmerimo. U takvim

situacijama je poželjno znati jednu od temperatura, na primer  $t_2$ , jer je termalna elektromotorna sila nelinearna funkcija temperature. Kada se meri  $t_2$  spojevi 4 i 5 će biti referentni i biće na poznatoj istoj temperaturi. Spojevi 3, 4 i 5 moraju ostati jednaki i kada se meri temperaturna razlika sa  $t_2$  i kada se meri temperatura  $t_2$ .



**Slika 2.3** Uvođenje mernog instrumenta u kolo diferencijalnog termosprega



Ako se radi o malim temperaturnim razlikama treba koristiti uređaj (termofil) sačinjen od nekoliko termo-parova postavljenih zaredom. To je urađeno kako bi se pojačala generisana termoelektromagnetna sila. Veza pomenutog uređaja (termofila) i instrumenta za merenje razlike u temperaturi između dva medija je prikazna na slici 2.3. Kao i do sada, jedna od temperatura, na primer  $t_2$  mora se znati unapred. Po pravilu, merenja pomoćnog termometra nisu prikazana u dijagramu. Kao što se zna, jedan meri  $\Delta E$  termofila, a drugi istu temperaturu u spojevima 3 i 4, zatim  $E_2$  pomoćnog termofila, koristeći odgovarajući deo kalibracione krivulje (ili grafikona).

**2.2 Kompenzacija termo spojeva**

Kada je kalibrisan termo-par, njegova referenca spajanja se obično održavaju na konstantnu temperaturu jednaku tački leđenja  $t_0 = 0^\circ C$ . Kada merenje temperature pod uslovima servisa, temperature na referentnom spoju se obično razlikuje od tačke leđenja. Ako se merenja u sprotrom nisu rađenja, to će neizbežno uticati na termoelektromotornu silu koja su razvija termo-par. Pretpostavimo da se za vreme merenja spoj održava na konstantnoj temperaturi  $t$ , a referentni spoj se zagreva do temperature  $t_0$  koja je zadržana za vreme kalibracije do  $t_0'$ . Sada će se termalnoelektromotorna sila razvijena od strane

termo-para,  $E_{AB}(t, t_0')$  razlikovati od kalibrisane vrednosti. Koristeći jednačinu (1.9) dobijamo

$$E_{AB}(t, t_0) - E_{AB}(t, t_0') = e_{AB}(t) - e_{AB}(t_0) - e_{AB}(t) + e_{AB}(t_0')$$

Kada se pokradi  $e_{AB}(t)$ , dobijamo

$$E_{AB}(t, t_0) - E_{AB}(t, t_0') = e_{AB}(t_0') - e_{AB}(t_0) = E_{AB}(t_0', t_0)$$

Kada se sabirci preraspodele dobijamo

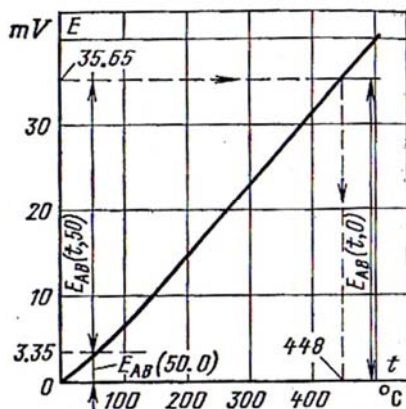
$$E_{AB}(t, t_0) = E_{AB}(t, t_0') + E_{AB}(t_0', t_0) \tag{2.1}$$

Kao što sledi iz jednačine (2.1), povećanje temperature referentnog spoja podiže količinu termalnoelektromotorne sile za istu količinu termalnoelektromotorne sile  $E_{AB}(t, t_0)$  dobijenu sličnim termo-parom čiji su merni i referentni spojevi na temperaturama  $t_0'$  i  $t_0$ .

Ako je  $t_0' < t_0$ , jednačina (2.1) dobija oblik

$$E_{AB}(t, t_0) = c - E_{AB}(t_0, t_0') \tag{2.2}$$

Jednačine (2.1) i (2.2) se primenjuju na slučajeve gde se termoelektromotorna sila  $E_{AB}(t, t_0)$  meri potenciometrom (slika 1.1.4).



**Slika 2.4** Upotreba korekcije temperature referentnog spoja na chromel-copel termo-paru

Primer. Tokom podešavanja chromel-copel termo-para, temperatura u referentnom spoju je bila  $t_0 = 0^\circ C$ . Tokom merenja, bila je  $t_0' = 50^\circ C$ . Potenciometar iščitava  $E_{AB}(t, 50) = 32.3 mV$  što odgovara temperaturi od  $409.5^\circ C$ . Kako bi koristili kalibracionu krivu (slika 1.4.1) moramo pronaći  $E_{AB}(t, t_0)$  na temperaturi od  $t_0 = 0^\circ C$  i na istoj temperaturi  $t$  merenog spoja:

$$E_{AB}(t, 0) = E_{AB}(t, 50) + E_{AB}(50, 0)$$

Sa kalibracone krive vidimo da  $E_{AB}(50, 0) = 3.35 mV$ . Zamenom vrednosti  $E_{AB}(t, 50)$  i  $E_{AB}(50, 0)$  u gornjoj jednačini, dobijamo:

$$E_{AB}(t, 0) = 32.3 + 3.35 = 35.65 mV$$

To odgovara temperaturi merenog spoja od  $448^\circ C$ . Pretpostavka da je termoelektromagnetna sila linearna funkcija temperature nas može dovesti do netačnog rezultata:

$$t = 409.5 + 50 = 459.5^\circ C$$



### 3. ZAKLJUČAK

U radu se izlaže osnovna teorija o kontaktnom merenju temperature u širokom opsegu merene veličine. Polazi se od ideje istraživača Zebeka, pa preko poznate teorije i radova i eksperimenata Volte, čime se stvaraju osnovne pretpostavke za proučavanje kontaktnog načina merenja temperature.

Opisuje se i obrađuje sistem sa dva provodnika koja kad se nađu na različitim temperaturama isti generišu napon koji je zavistan od vrste primenjenih provodnika, s jedne strane, i od merene temperature na mernom spoju s druge strane.

Zatim se teoretski obrađuje sistem za kontaktno merenje temperature koji poseduje tri provodnika. Posle toga se po Voltinom zakonu formiraju analitičke zavisnosti koje opisuju generisanje elektromotornih sila u funkciji kontaktno merene temperature.

Posle toga se paru sastavljenom od dva različita provodnika dodaje treći provodnik za šta se opisuju potrebne i korisne jednačine elektrodinamičke ravnoteže.

Daje se primer kola koje opisuje spajanje mernog instrumenta u kolo termo para, gde se daju korisne analitičke zavisnosti, kao i uvođenje mernog instrumenta u kolo diferencijalnog termo sprega. Analizira se uticaj referentne temperature na tačnost merene veličine i uvodi kompenzacija tzv. referentne temperature radi povećanja tačnosti merenja.

Kroz ovaj pregledni rad data je elementarna teorija kontaktnog merenja temperature, što će poslužiti istraživačima i onima koji prvi put izučavaju ovu oblast, radi projektovanja i održavanja sistema za merenje i regulaciju temperature u mnogim industrijskim procesima.

### LITERATURA

1. Surutka J., Elektromagnetika, Akademska Misao, 2005, Beograd
2. Vučić V., Osnovna merenja u fizici, Nauka, 1995, Beograd
3. Jovanović V., Elektrotehnika III, Naučna Knjiga, Beograd
4. Potkonjak V., Robotika, Naučna knjiga, 1989, Beograd
5. Stojilković V., Merenje mehaničkih veličina električnim putem, Mašinski fakultet, Niš
6. Nieto A., Paul F., Mesure des temperatures, Editions Radio, Paris
7. Kraemer R., Les radio isotopes dans l'industrie, Editions Radio, Paris
8. Ultrazvuk-10, Mokslas, 1978, Vilnius
9. Nikolić M., Primena izvora jonizujućih zračenja, Institut "Boris Kidrič", Vinča
10. Milojević A., Principi i metode primene radioaktivnih izotopa u industriji, Naučna knjiga, Beograd
11. Milićević M., Automatska regulacija snage generatora za induktivno zavarivanje pomoću mikroracunara merenjem temperature vara, Automatika br.5-6, 1981, Zagreb
12. Milićević M., Merenje temperature vara primenom mikroracunara na linijama za proizvodnju šavnih cevi, Elektrotehnika br.2, 1980, Beograd
13. Milićević M., Avtomatičeskoe upravljenie processom indukcioni svarki trub s primenieniem mikro - EVM, VII Meždunarodnaja konferencija stran členov SEV i SFRJ po avtomatizaciji proizvodstvenyh processov i upravlenija v černo metalurgii, SSSR, Ždanov, 1988
14. Milićević M., Elektronski regulator teperature IT-31, (0-250)0C, Fe-Ko,
15. Milićević M., Zaštitni temperaturni rele TR-23 sa tasterom za reset,
16. Đurić B., Čulum Ž., Fizika IV deo - Optika, Naučna knjiga, Beograd, 1966
17. Optoelektronik Halbleiter, Datenbuch, Siemens, 1976
18. Nauman G., Primenenie infrakrasnoi v celah kontrol za rabotai metalurgičeskikh ustanovok, VI Meždunarodnaja konferencija SEV i SFRJ po avtomatizaciji, Budapešt, Mart, 1979
19. Electronic Temperature controllers, Regal House, Buncroft, Hitchin, Hertfordshire
20. Milićević M., Merenje temperature vara primenom mikroracunara na linijama za proizvodnju šavnih cevi, Elektrotehnika br.2, pp 267-276, Beograd, 1980
21. Preobrazhensky V., Measurements & Instrumentation in Heat Engineering, volume 1, Mir Publishers, 1980, Moscow
22. Preobrazhensky V., Measurements & Instrumentation in Heat Engineering, volume 2, Mir Publishers, 1980, Moscow
23. Instrument TMRS-34 MR, Non -contact temperature Measurement, Maurer infrared spectral pyrometers, Förster Engineering Trading GmbH, Reutlingen



24. Dance M., MPU – s allow high precision thermometry, Electronics Industry, Mai 1979, pp 12–17, London, 1979
25. Auslandet,d.M.,Kemp f.,C.J.,Mechatronics Mechanical System Interfacing,Prentice Hall,Upper Sadle River,NJ,1996
26. De Silva,C.W.,Vibration Fundamentals and Practice,CDC Press,Boca Raton,FI,2000
27. Histan.,M./B.,Alciatore.,D.G.,Introduction to Mechatronics and MeasurementSystems,WCB McGraw-HillNew York,NY,1999
28. Karray,F.,de Silva,C.W.,Soft Computing Techniques and Their Applications,Pearson,U.K.,2004
29. Tan K.K. Lee,T.H.Dou,H.,Huang,S.,Precision Motion Control,Springer-Verlag,London,England,2001
30. De Silva C.W.,Sensors for control,Encyklopedia of Physical Science and Technology,3rd ed.,Meyers,R.A.,ED,Academic Press, San Diego,CA,Vol.14,pp.609-650,2001
32. De Silva c.W.,Wong,K.H.,Modi,V.J.,Devolopement of a novel multi-module manipulator system:dinamic model and prototype design,Mechatronics and Machine Vision:Current Practice,Bradbeer,R.S.and Billingsley J.,Eds.,Research Studies Press, Ltd.,Hertfordshire, Baldock,England,pp.161-168,2002
33. Croft,E.A.,de Silva,C.W., Kurnianto,S.,Sensor technology integration in an intelligent machine for herring Roe grading,IEEE-ASME Transactions on Mechatronics,Vol.1,No.3.,pp.204-216,Sept.1996
34. Chen,Y.,Wang,X.G.,Sun,C.,Devine,F.,de Silva,C.W.,Active vibration control with state feedback in woodcutting,Journal of Vibration and Control, Vol.9,No.6,pp.645-664,2003
35. De Silva ,C.W.,Design of PPD controllers for position servos,Journal of Dinamics Systems,Measurement and Control, Trans.ASME, Vol.112, No.3,pp.519-523,September,1990
36. Omar,F.K.,de Silva,C.W., Optimal portion control of natural objects with application in automated cannery processing of fish, Journal of Food Eb=ngineering, Vol.46, pp.31-41, 2000
37. Tang, P.L.,de Silva C.W., Poo,A.N., Inelligent adaptive control of an industrial fish cutting , machine, Transactions of the South African Institute of Electrical Engineers,Vol.93, No.2,pp.60-72,June,2002
38. D Silva C.W., Wong,K.H.,Modi,V.J., Developement of a novel multi-module Manipulator System:Dinamic Model and Prototype Design, The Nineth IEEE Conference on Mechatronics and Machine Vision in Practice, Chang Mai, Thailand, pp.69-74, September, 2002
39. Auslander, D.M., Kemp f.,C.J., Mechatronics Mechanical System Interfacing, Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, 1996
40. De Silva, C.W., Vibration Fundamentals and Practice, CRC Press, Boca raton, FL, 1995s
41. Histan, M.B., Alciatore, D.G., Introduction to Mechatronics and Measurement Systems, WCB Mc Graw-Hill, New York, Ny,1999
42. Karray, F., de Silva,C.W., Soft Computing Techniques aand their Applications, Pearson, U.K.,2004.
43. Tan,K.K.Lee, T.H.Dou, H., Huang, S., Prec.Motion Contr., Springer-Verlag, London,,2001
44. Milićević M., The Application of a New Formula Nakaoka Coefficient in HF Inductive Welding, Strojniški Vestnik - Journal of Mechanical Engineering (2010), vol.56 br.7-8, str.483-488, ISSN:0039-2480; IF=0,193, UDC 621.791.7:004.942
45. MilićevićM.,Jovanović T.,Nejković V., Defects identification of the hihg frequency inductive welding, Mining and Metallurgy Engineering Bor, no.2,Bor,2013
46. MilićevićM.,Jovanović T.,Nejković V.,High energetic efficacy for high requency inductive welding , Mining and Metallurgy Engineering Bor, no.4,Bor,2013

Sung-Yong Ahn, Myungjin Lee, Kyung-Mox Cho, and Namhyun Kang\*  
(IIW Doc. IX-C-1058-15)

# EFFECTS OF RETAINED $\delta$ -FERRITE ON CORROSION PROPERTIES FOR MODIFIED 9Cr-1Mo STEEL WELDS

## EFEKTI ZAOSTALOG $\delta$ -FERITA NA KOROZIJONE OSOBINE ZAVARENIH SPOJEVA OD MODIFIKOVANOG 9Cr-1Mo ČELIKA

**Originalni naučni rad / Original scientific paper**

**UDK / UDC: Weld World (2014) 58:491–497;**

**DOI 10.1007/s40194-014-0132-0**

**Rad primljen / Paper received:**

Jun 2016.

*Prevod izvornog rada na srpski jezik: Milica Antić, dipl.ing*

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

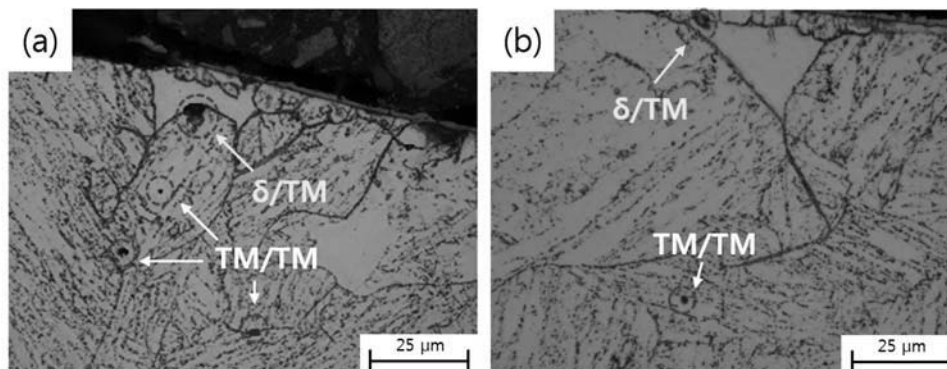
*\*Department of Materials Science & Engineering, Pusan National University, Busan 609-735, Korea*

Mod. 9Cr-1Mo steels have a superior creep strength due to the precipitation of MX (M=V, Nb ; X=N, C) produced from V/Nb solute and M<sub>23</sub>C<sub>6</sub> induced by Cr/Mo solutes [1]. Low CTE, reasonable ductility and toughness, and a good resistance on hydrogen embrittlement make the alloy attractive to the structural materials for the steam and nuclear power plants [2]. For the welding of Mod. 9Cr-1Mo steels, postweld heat treatment (PWHT) is mostly required to acquire the weld integrity [3]. The study investigated pitting corrosion property with respect to the retained  $\delta$ - ferrite in Mod. 9Cr-1Mo steel welds produced at various postweld heat treatment (PWHT) time. Base metal was normalized (1080 oC for 1 hr) and tempered (760 oC for 2 hr). Rectangular plates of 6 mm thickness were used for the fabrication of weldments. Bead-on-plate welding was conducted by austenitic gas tungsten arc welding (GTAW) and welding heat input was 6.4 kJ/mm (150 A, 11.7 V, and 16.5 mm/min). PWHT was carried out at 760 oC as the holding time from 30 minutes to 2 hours. The base metal had a microstructure of tempered martensite (TM) with no retained  $\delta$ - ferrite. A GTAW process produced the retained  $\delta$ - ferrite in the martensitic welds. A PWHT process changed the microstructure to the TM with increasing the carbide amount. Potentio-dynamic test was conducted using 3-electrode system in 0.001 mole sodium chloride solution to observe pitting corrosion sites. Increasing the PWHT time, polarization curves shifted to low E<sub>corr</sub> and large I<sub>corr</sub>, therefore decreasing the pitting corrosion resistance of the weld. The specimens post to the potentio-dynamic test were observed using optical microscopy (OM). Fig. 1 shows the pits developed in the welds.

Modifikovani 9Cr-1Mo čelici imaju superiornu čvrstoću puzanja zbog taloženja jedinjenja MX (M = V, Nb; X = N, C) nastalih od rastvorenih V / Nb i karbida M<sub>23</sub>C<sub>6</sub> nastalih usled prisustva rastvorenih Cr / Mo [1]. Niska CTE, razumna duktilnost i žilavost, i dobra otpornost na prslinu usled vodonika, čine ove legure privlačnim konstrukcionim materijalom za termo i nuklearne elektrane [2]. Za zavarivanje modifikovanog 9Cr-1Mo čelika, termička obrada (PWHT) je uglavnom potrebna da se obezbedi integritet zavarenog spoja [3]. Studija ispitivanja osobina na tačkastu koroziju u odnosu na zaostali  $\delta$ - ferit kod zavarenih spojeva od modifikovanog 9Cr-1Mo čelika odnosi se na različita vremena termičke obrade (PWHT). Osnovni materijal je normalizovan (1080 ° C / 1 sat) i žaren (760 ° C / 2 h). Pravougaone ploče debljine 6 mm su korišćene za izradu zavarenih elemenata. Navar na ploči je izveden TIG postupkom sa unetom količinom toplote od 6,4 kJ / mm (150 A, 11,7 V i 16,5 mm / min). PWHT je izvedena na 760 ° C a vreme držanja je od 30 minuta do 2 sata. Osnovni materijal ima mikrostrukturu otpuštenog martenzita (TM) bez zaostalog  $\delta$ - ferita. TIG postupkom zavarivanja stvara se zaostali  $\delta$ - ferit u martenzitnim zavarenim spojevima. Postupak PWHT menja mikrostrukturu TM kroz povećanje sadržaja karbida. Potencio-dinamičko ispitivanje je sprovedeno korišćenjem sistema sa 3-elektrode u rastvoru natrijum hlorida da bi se posmatrala mesta sa tačkastom korozijom. Sa porastom vremena PWHT, krive polarizacije su prebačene na mali E<sub>corr</sub> i veliki I<sub>corr</sub>, i time na smanjenje otpornosti na rupičastu koroziju zavarenih spojeva. Epruvete podvrgnute potencio-dinamičkom ispitivanju podvrgnute su optičkoj mikroskopiji (OM). Na sl. 1 prikazane su jamice na zavarenim spojevima.

As the PWHT time increased, the coarse pits were nucleated more frequently at the  $\delta$ /TM interface than at the TM/TM interface.

Kako vreme PWHT raste, grube jamice se stvaraju češće na međupovršinama  $\delta$ /TM nego na međupovršinama TM/TM.



**Fig. 1** Optical micrographs (a) and (b) to indicate pitting position and size, i.e., the coarse pits observed at the  $\delta$ /TM interface rather than at the TM/TM interface.

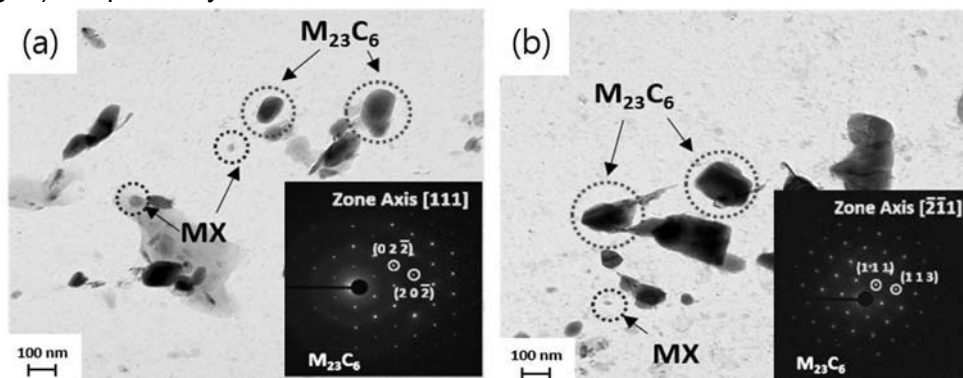
**Sl. 1** Optički mikrofotografiji (a) i (b) koji indikuju položaj i veličinu jamica t.j., grube jamice zapažene na međupovršini  $\delta$ /TM u većem stepenu nego na međupovršini TM/TM.

Pitting corrosion in high Cr steels is preferentially generated in the Cr depleted zone adjacent to Cr-rich  $M_{23}C_6$  carbides and large  $M_{23}C_6$  carbides act as the active sites for the initiation of pitting corrosion [4,5]. On the other hand, MX carbonitrides present in the matrix hinder the precipitation of  $M_{23}C_6$  carbides, therefore improving the corrosion resistance of the steel [6]. Therefore, the authors analyzed the size and distribution of  $M_{23}C_6$  existing at TM/TM and  $\delta$ /TM interfaces to understand the mechanism of pitting corrosion.

Precipitates at TM/TM and  $\delta$ /TM interfaces were observed using carbon replica method. Transmission electron microscopy (TEM) micrographs is shown in Fig. 2 that two types of spherical particles existed and their size increased with increase of PWHT time. Selected area electron diffraction (SAED) pattern and energy dispersive spectroscopy (EDS) spectrum indicated that the coarse and fine carbides were  $M_{23}C_6$  carbides (red dotted line in Fig. 2) and MX carbonitride (blue dotted line in Fig. 2), respectively.

Tačkasta korozija u visoko Cr čeliku se prvenstveno javlja u zoni osiromašenoj na Cr u blizini zone Cr-om bogatih  $M_{23}C_6$  karbida i velikih  $M_{23}C_6$  karbida koji deluju kao aktivna mesta za pokretanje tačkaste korozije [4,5]. S druge strane, MX karbonitridi prisutni u matrici ometaju taloženje  $M_{23}C_6$  karbida, stoga poboljšavaju otpornost čelika prema koroziji [6]. Iz tog razloga, autori analiziraju veličinu i distribuciju  $M_{23}C_6$  koji postoje u međuzonama TM / TM i  $\delta$  / TM da bi se shvatio mehanizam tačkaste korozije.

Talozi na TM / TM i  $\delta$  / TM međupovršinama su posmatrani metodom ugljeničnih replika. Prenosna elektronska mikroskopija (TEM), odn. mikrofotografiji prikazani na slici. 2 pokazuju da postoje dve vrste sfernih čestica čija veličina raste sa povećanjem vremena PWHT. Putanjom izabranog područja difrakcije elektrona (SAED) i spektrom energije disperzivne spektroskopije (EDS) prikazani su grubi i fini karbidi  $M_{23}C_6$  karbidi (crvena isprekidana linija na Sl. 2) i MX karbonitridi (plava isprekidana linija na Sl. 2).

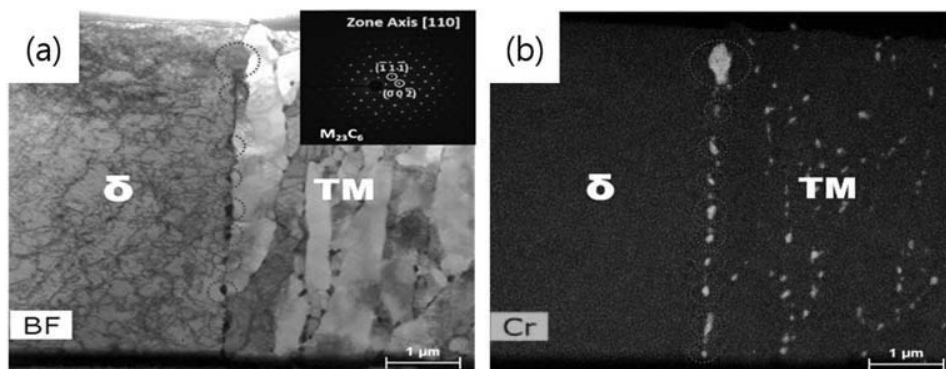


**Fig. 2** Transmission electron micrographs in the weld: (a) PWHT 30 min and (b) PWHT 2 hr

**Sl. 2.** TEM mikrofotografiji šava: (a) PWHT 30 min i (b) PWHT 2 h

Focused ion beam (FIB) samples were prepared to analyze the type and size of the carbides at  $\delta$ /TM interface. Fig. 3 shows the bright field image with SAED pattern and EDS mapping image of Cr. Cr-rich  $M_{23}C_6$  carbides were dispersed along the lath boundaries of TM/TM and  $\delta$ /TM interface. The carbides located at the  $\delta$ /TM interface were coarser and denser than those at the TM/TM interface

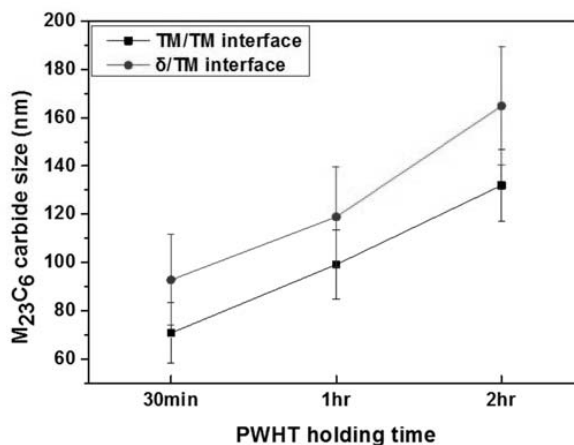
Uzorci za ispitivanje fokusiranim snopom jona (FIB) su pripremljeni za analizu vrste i veličine karbida na  $\delta$  / TM međupovršinama. Sl. 3 prikazuje svetlo polje slike sa SAED putanje i EDS mapiranje slike Cr. Karbidi  $M_{23}C_6$  bogati Cr-om su dispergovani duž granica međupovršina TM / TM i  $\delta$  / TM . Karbidi koji se nalaze na  $\delta$  / TM međupovršini su grublji i gušći od onih na TM / TM međupovršini.



**Fig. 3** Carbide type and size observed for PWHT 2 hr specimens: (a) bright field image of TEM and (b) Cr mapping  
**Sl. 3** Tip i veličina karbida zapažena kod epruveta sa PWHT od 2 h (a) slika svetlih polja pri TEM (b) mapiranje Cr

Fig. 4 shows the average size of  $M_{23}C_6$  carbides as a function of PWHT time. As a PWHT time increased,  $M_{23}C_6$  carbides precipitated at TM/TM and  $\delta$ /TM interfaces increased. The carbides at the  $\delta$ /TM interface had a size of 90-160 nm and they were coarser than the carbides (70~130 nm) at the TM/TM interface. The  $\delta$ -ferrite contains more Cr contents that stabilize ferrite phase and martensite has extra C supersaturated [7]. For PWHT, Cr and C diffuse to the interface between  $\delta$  and TM, resulting in formation of coarser Cr-rich  $M_{23}C_6$  than the carbides at TM/TM interface. The coarser carbides are formed, the more Cr diffuse to make it from adjacent area [4,5]. Therefore, the larger carbides of  $M_{23}C_6$  caused the severer degradation of pitting corrosion resistance as the PWHT time increased.

Na sl. 4 prikazana je prosečna veličina  $M_{23}C_6$  karbida u funkciji vremena PWHT. Kako vreme PWHT raste,  $M_{23}C_6$  karbidi se više talože na međupovršinama TM / TM i  $\delta$  / TM. Karbidi na  $\delta$  / TM međupovršini imaju veličinu 90-160 nm i oni su grublji od karbida (70 ~ 130 nm) na TM / TM međupovršini.  $\delta$ -ferit sadrži više Cr koji stabilizuju fazu ferita i martenzita koji je je ekstra zasiđen ugljenikom [7]. Pri PWHT, Cr i C difunduju kroz međupovršinu  $\delta$  i TM, što dovodfi do formiranja grubljih Cr-om bogatih  $M_{23}C_6$  karbida na TM / TM međupovršini. Pri formiranju grubljih karbida, više Cr difunduje iz susednih područja [4,5]. Dakle, veći karbidi  $M_{23}C_6$  izazivaju ozbiljniju degradaciju otpornosti na tačkastu koroziju sa povećanjem vremena PWHT.



**Fig. 4** Average size of  $M_{23}C_6$  located at TM/TM and  $\delta$ /TM interfaces with respect to PWHT time  
**Sl. 4** Srednja veličina  $M_{23}C_6$  lociranih na međupovršinama TM/TM i  $\delta$ /TM u odnosu na vreme PWHT

The study investigated the effect of PWHT time on pitting behavior for Mod. 9Cr-1Mo steel welds and the following conclusions are made:

1. The retained  $\delta$ -ferrite was observed in the weld of Mod. 9Cr-1Mo steels although the base metal consisted of tempered martensite with no  $\delta$ -ferrite. This is because the welding has non-equilibrium solidification due to the rapid cooling rate. Therefore, the phase transformation from  $\delta$ -ferrite to austenite was incomplete during the cooling of GTAW.

2. For potentiodynamic test,  $E_{corr}$  values decreased and  $I_{corr}$  values increased as the PWHT time increased, therefore decreasing the pitting corrosion resistance of the weld. Pitting was randomly observed at the martensite lath. With increasing the PWHT time, the coarse pitting was found at the  $\delta$  / TM interface as compared with the pits formed at the TM/TM interface.

3. Coarser and denser Cr-rich  $M_{23}C_6$  carbides were formed along the  $\delta$  / TM interface than at the TM/TM interface with increasing the PWHT holding time. This is caused by diffusion of Cr and C to the interface between the  $\delta$ -ferrite and TM. The retained  $\delta$ -ferrite in welds behave as an activation site for pitting corrosion. Therefore, the modified 9Cr-1Mo steel needs a systematic study to optimize PWHT temperature and time after considering the pitting corrosion resistance as well as mechanical properties.

## REFERENCE

R. L. Klueh and D. R. Harries, High-chromium ferritic and martensitic steels for nuclear applications, ASTM monograph 3. American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA (2001)  
 M. Sireesha, S. Sundaresan and S. K. Albert, Journal of Materials Engineering and Performance, 10, 320 (2001)  
 E. Sambamurthy, S. Dutta, A. K. Panda, , A. Mitra and R. K. Roy, International Journal of Pressure Vessels and Piping, 123, 86 (2014)

Studija je imala za cilj istraživanje učinka vremena PWHT na ponašanje u odnosu na tačkastu koroziju zavarenih spojeva od modifikovanog 9Cr-1Mo čelika i mogu se doneti sledeći zaključci:

1. Zaostali  $\delta$ -ferit je uočen kod šava od modifikovanog 9Cr-1Mo čelika, iako se osnovni materijal sastoji se od otpušenog martenzita bez  $\delta$ -ferita. To je zato što zavarivanje izaziva neravnotežno očvršćavanje usled velike brzine hlađenja. Dakle, fazna transformacija iz  $\delta$ -ferita u austenit je nepotpuna tokom hlađenja posle TIG zavarivanja.

2. Pri potencio-dinamičkom testu,  $E_{kor}$  (E kor) vrednosti se smanjuju a  $I_{kor}$  (I kor) vrednosti se povećavaju sa vremenom PWHT, čime se smanjuje i otpornost šava na tačkastu koroziju. Tačkasta korozija je nasumično uočena na martenzitnim iglicama. Sa povećanjem vremena PWHT, grube jamice su pronađene na međupovršini  $\delta$  / TM u poređenju sa jamicama formiranim na međupovršinama TM / TM.

3. Grublji i gušći Cr-om bogati  $M_{23}C_6$  karbidi formiraju se su duž  $\delta$  / TM međupovršina u odnosu na TM / TM međupovršinu sa povećanjem vremena držanja pri PWHT. To je uzrokovano difuzijom Cr i C kroz međupovršinu između  $\delta$ -ferita i TM. Zaostali  $\delta$ -ferit u šavovima se ponaša kao aktivaciono mesto za tačkastu koroziju. Na osnovu toga, modifikovani 9Cr-1Mo čelik zahteva sistematsku studiju sa ciljem optimizacije temperature i vremena PWHT posle razmatranja otpornosti na tačkastu koroziju i mehaničkih osobina.

Y. J. Kim, D. W. Joo, S. H. Park, G. D. Kim and J. H. Sung, J. of the Korean Society of Heat Treatment, 7, 25 (1994)

C. T. Kwok, H. C. Man and F. T. Cheng, Surf. Coat. Technol. 126, 238 (2000)

Q. Lu, W. Xu and S. van der Zwaag, , TMS 2013 Annual Meeting Supplemental Proceedings, TMS, (2013)

F. Abe, T. Noda, H. Araki and S. Nakazawa, J. Nucl. Mater. 179, 663 (1991)



## NERĐAJUĆI I VATROOTPORNI ČELICI

### -Vrste, karakteristike, zavarivanje-

**Visokolegiranim čelicima** smatraju se oni koji sadrže više od 45% Fe, s tim da zbir svih legirajućih elemenata nije manji od 10% i da sadržaj jednog od legirajućih elemenata nije manji od 8%.

Osnovni legirajući element u *nerđajućim* čelicima je *hrom* (Cr). On čelicima daje otpornost prema koroziji i oksidaciji na povišenim temperaturama. Zaštitna uloga hroma u čeliku postiže se stvaranjem tanke opne oksida hroma, kada sadržaj hroma pređe 12%. Ovaj sloj oksida hroma deluje tako da pasivizira površinu i sprečava dalje koroziono delovanje.

Čelik sa sadržajem hroma preko 12% ima dobru otpornost prema sredinama koje deluju oskidirajuće (npr. azotna kiselina). U redukujućim sredinama otpornost ovog čelika je loša zbog redukcije oksida hroma. Dodavanjem legirajućih elemenata (npr. Ni, Mo) povećava se otpornost prema redukujućim sredinama.

#### KLASIFIKACIJA NERĐAJUĆIH ČELIKA

Nerđajući čelici mogu da se svrstaju u dve osnovne grupe: nerđajuće čelike na bazi hroma i nerđajuće čelike na bazi hroma i nikla. Na sl. 1 i 2 prikazan je okvirni sadržaj legirajućih elemenata u ove dve grupe čelika i njihove najvažnije osobine. U zavisnosti od osnovnih svojstava i namene, nerđajući čelici se dele u tri grupe:

##### a) Grupa čelika otpornih prema koroziji

U ovu grupu spadaju čelici otporni prema elektrohemijskoj koroziji. Otporni su prema pojavi korozije pod opterećenjem, kao i prema pojavi tačkaste korozije. Namijenjeni su za ugradnju u konstrukcije koje rade u vlažnoj atmosferi, morskoj vodi, slanim rastvorima, kiselinama i sličnim sredinama.

##### b) Grupa vatrootpornih čelika za rad bez spoljnih opterećenja

U ovu grupu spadaju čelici otporni prema stvaranju kovarine i korozije u suvoj atmosferi pri

temperaturama iznad 550°C, bez opterećenja ili sa neznatnim opterećenjem.

##### c) Grupa vatrootpornih čelika za rad pod opterećenjem

U ovu grupu spadaju čelici koji pod opterećenjem na visokim temperaturama imaju zadovoljavajuću otpornost u garantovanom vremenu eksploatacije, uključujući dobru otpornost na koroziju.

U posebnu grupu spadaju nerđajući čelici namenjeni za rad na niskim temperaturama pod opterećenjem. Namijenjeni su za izradu posuda za tečne gasove čije temperature dostižu i do -269°C. Čak i na tako niskim temperaturama ovi čelici zadržavaju plastičnost i žilavost.

Druga podela nerđajućih čelika može se bode prema strukturi. Naime, pri zagrijavanju ovih čelika u temperaturnom intervalu od 600-1150 °C i hlađenju na vazduhu, zavisno od hemijskog sastava dobijaju se strukture prema kojima se ovi čelici dela na feritne, martenzitne i austenitne.

Kod pojedinih čelika postoji mešavina struktura, pa je podela sledeća:

1. Martenzitni čelici, kod kojih je struktura martenzit (sl. 3a)
2. Martenzitno-feritni čelici, kod kojih je osnovna struktura martenzit uz prisustvo ferita >5% (sl. 3b)
3. Feritni čelici, kod kojih je osnovna struktura ferit (sl. 3c) i nema transformacije ferita u austenit.
4. Austenitno-martenzitni čelici, kod kojih je mešana struktura austenita i martenzita (sl. 3d).
5. Austenitno-feritni čelici, kod kojih je mešana struktura austenita i ferita (sl. 3e), sa >10% ferita.
6. Austenitni čelici kod kojih je čista austenitna struktura (sl. 3f).

U tabeli 1 prikazan je okvirni hemijski sastav nerđajućih čelika

prema ovoj klasifikaciji i njihove mehaničke osobine.

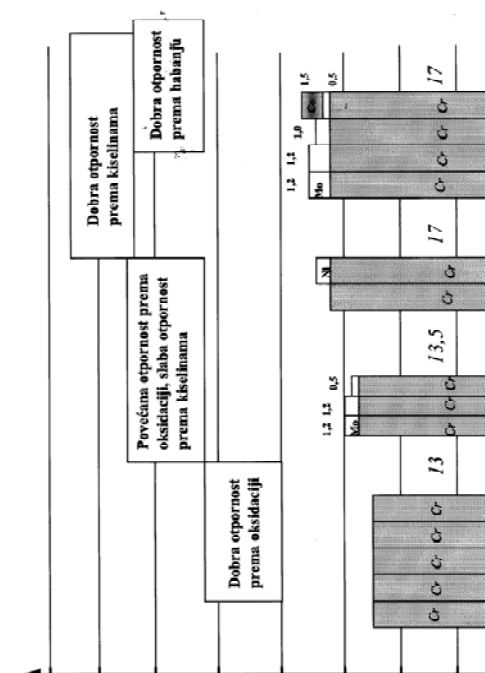
Hemijski sastav (%)				Struktura	Vrsta čelika	Mehaničke osobine		
C	Cr	Ni	Mo			R <sub>m02</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	R <sub>m</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	A <sub>5</sub> (%)
0.2-1.0	12-17	0-4	0-2	Martenzitna	Hromni	800	1000	15
0.1-0.2	12-17	0-4	0-2	Martenzitno-feritna	čelici	600	800	20
0.05-0.25	14-30	-	0-2	Feritna	Hrom- nikal	350	600	25
0.02-0.1	18-30	4-10	0-2	Feritno-austenitna	čelici	500	700	30
0.02-0.12	12-30	8-25	0-5	Austenitna		250	600	60

**Tabela 1.** Klasifikacija nerđajućih čelika prema strukturi, sadržaj legirajućih elemenata i okvirne mehaničke osobine

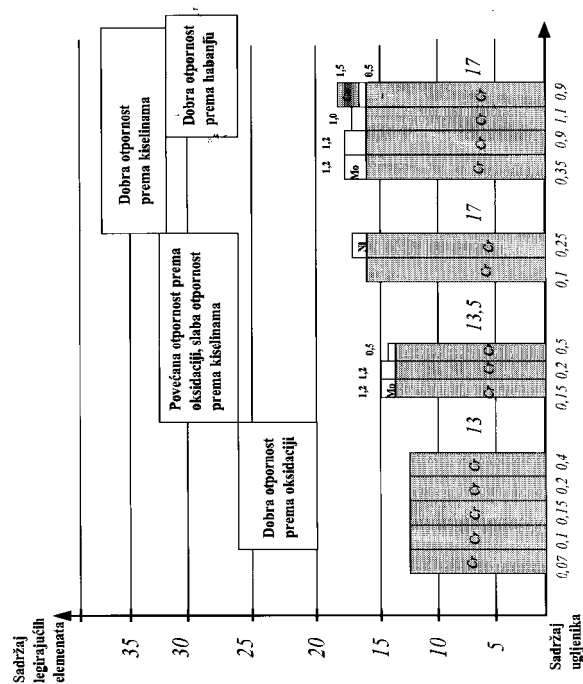


Za procenu strukture nerđajućih čelika koristi se Šeflerov dijagram, sl. 4, koji relativizira uticaj

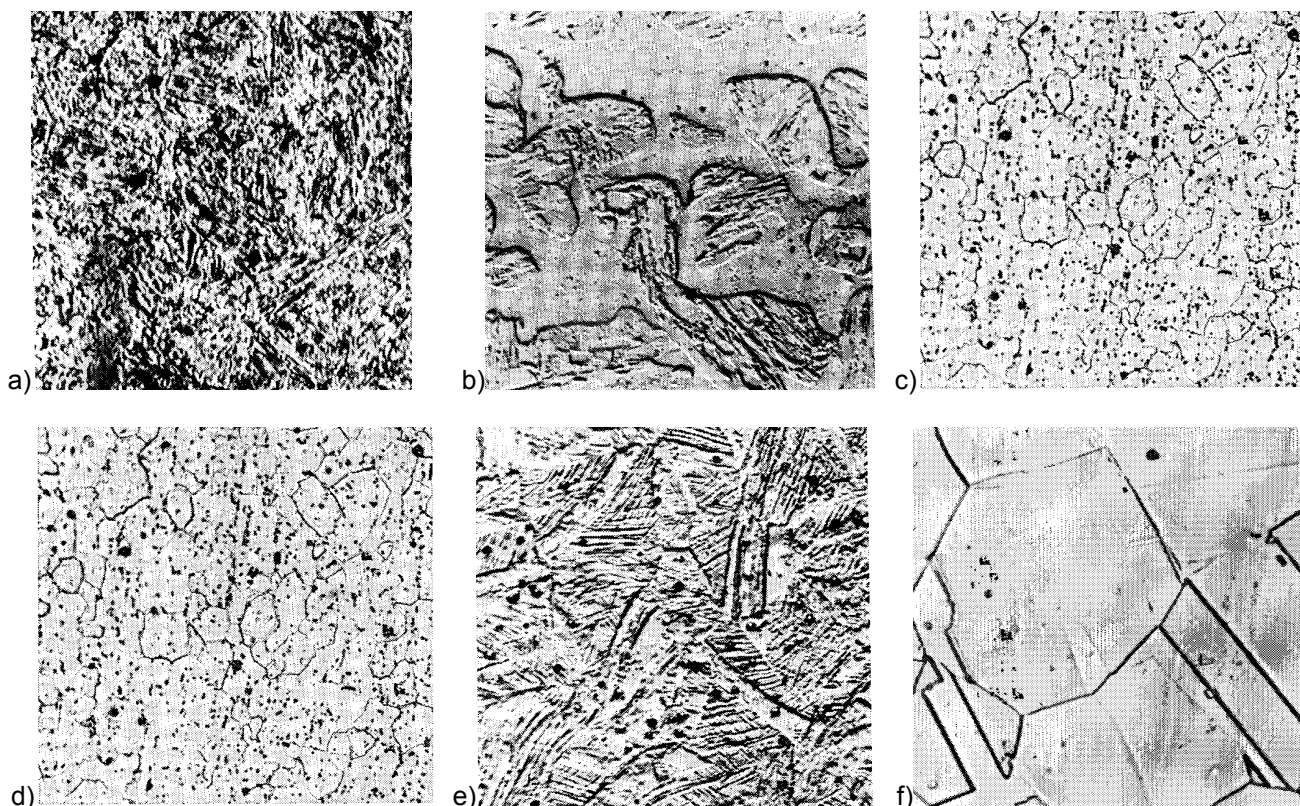
pojedinih legirajućih elemenata i primesa na strukturu nerđajućih čelika preko tzv.  $Cr_{eq}$  i  $Ni_{eq}$ .



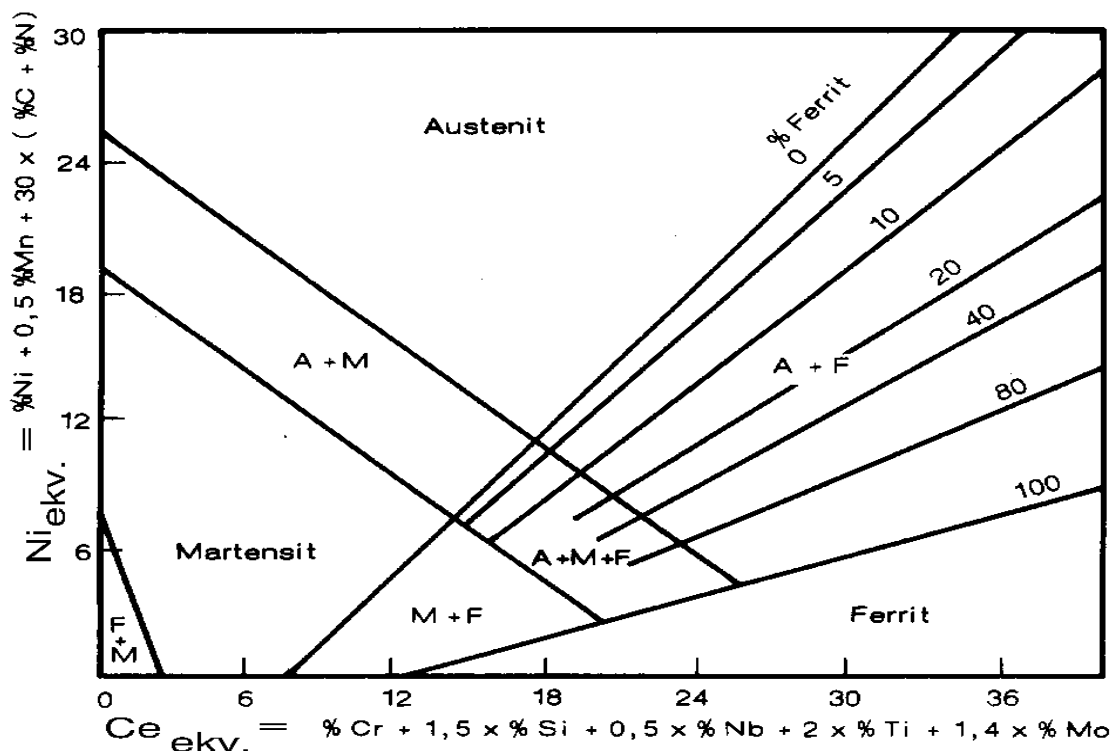
Slika 1. Feritni i martenzitni čelici



Slika 2. Austenitni čelici



Slika 3. Primeri tipičnih struktura nerđajućih čelika: martenzitna (a), martenzitno-feritna (b), feritna (c), austenitno-feritna (d), austenitno-martenzitna, ostvarena hladnom deformacijom (e) i austenitna (f)



Slika 4. Šeflerov dijagram

#### UTICAJ LEGIRAJUĆIH ELEMENATA I PRIMESA

Elementi koji pored železa i ugljenika ulaze u sastav čelika mogu da se podele u četiri grupe:

- A - **Legirajući elementi** (Ni, Mo, V i dr.) koji se namerno uvode u čelik u određenim količinama radi promene strukture i osobina čelika;
- B - **Uobičajene primese**, hemijske elemente koji se dodaju radi dezoksidacije čelika (Mn, Si, Al) ili elemente kojih se nije moguće osloboditi pri masovnoj proizvodnji čelika (P, S);
- C - **Skrivene primese** (O, N, H), koje se nalaze u čeliku u manjim količinama;
- D - **Slučajne primese** (Pb, Zn, Sn i dr.), unete u čelik u toku tehnološkog procesa proizvodnje čelika.

Prema delovanju na širinu oblasti  $\gamma$ -čvrstog rastvora legirajući elementi se dele na dve grupe:

Prvu grupu obrazuju elementi koji **proširuju** oblast  $\gamma$ -čvrstog rastvora. To su tzv. **gamageni** elementi ili **austenitizatori**. Ovu grupu obrazuju elementi koji sa železom obrazuju neograničeno čvrste rastvore (Ni, Mn, Co) i oni koji su ograničeno rastvorljivi u železu (C, N, Cu, Zn). Drugu grupu čine elementi koji sužavaju oblast  $\gamma$ -čvrstog rastvora uz jednovremeno širenje oblasti  $\alpha$ -čvrstog rastvora. To su **alfageni** elementi ili **feritizatori**. U ovoj grupi su Si, Ti, V, Cr, Mo, W.

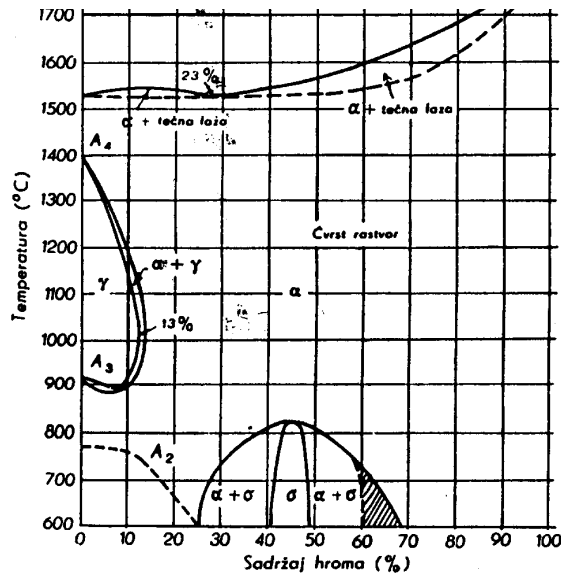
Dodavanjem legirajućih elemenata postiže se promena svojstava austenita i ferita, razvijanje nove faze, promena moći difuzije, razvijanje nove

faze, pomeranje granica alotropskih i drugih modifikacija (u pogledu temperature i koncentracije), promena prokaljivosti i fizičkih svojstava čelika.

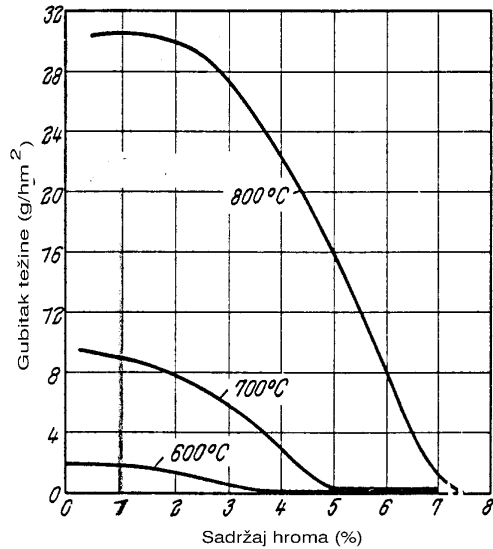
**Hrom** (Cr) ima, od tačke topljenja, 1849°C, do sobne temperature, kubnu prostornu centriranu rešetku, koja je izomorfna sa rešetkom  $\alpha$ -železa. Zbog toga se legiranjem železa hromom sužava oblast  $\gamma$ -čvrstih rastvora, koja se prostire od 1400 do 900°C, sl. 5. Hrom je, bez prisustva ugljenika, neograničeno rastvorljiv u feritu i delimično u austenitu.

U odnosu na kiseonik hrom ima nešto veći afinitet nego železo i obrazuje oksid  $Cr_2O_3$  sa visokom temperaturom topljenja. Hrom ima veći afinitet prema ugljeniku od železa i pojavljuje se kao element sklon obrazovanju karbida (vidi "obrazovanje karbida"). Karbidi hroma su termički postojaniji od karbida železa, a rastvaraju se usporenije i pri višim temperaturama. Zbog toga je za homogenizaciju čvrstih rastvora Fe-Cr-C potrebna viša temperatura i duže zadržavanje.

Prisustvo hroma poboljšava vatrootpornost legura. Ovo se manifestuje kako poboljšanjem čvrstoće i otpornosti prema puzanju tako i povećanjem otpornosti prema oksidaciji na povišenim temperaturama, kao što je na sl. 6 prikazano u slučaju legure železo-hrom sa 0,7 do 1,0% Si i 0,15%C, žarene 120 h.



Slika 5. Dijagram stanja sistema železo-hrom



Slika 6. Uticaj hroma na otpornost prema oksidaciji

Sadržaj hroma utiče na mehaničke osobine legura na sledeći način:

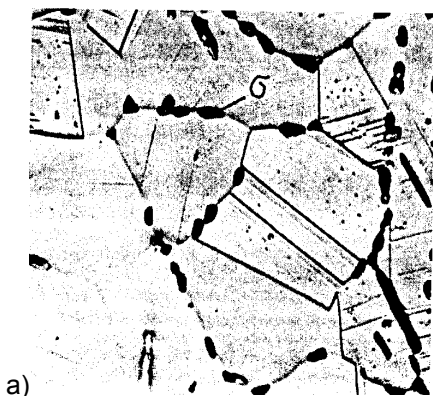
- sa sadržajem do 5% Cr povećava se zatezna čvrstoća i čvrstoća popuštanja (napon na granici tečenja), a iznad tog sadržaja ove karakteristične veličine se smenjuju;
- sa sadržajem od 6% Cr povećava se sposobnost deformisanja, daljim povećanjem do 12% Cr se smanjuje, a iznad tog sadržaja uticaj na izduženje je neznatan;
- sadržaj Cr iznad 1% smanjuje udarnu žilavost.

### Obrazovanje sigma-faze

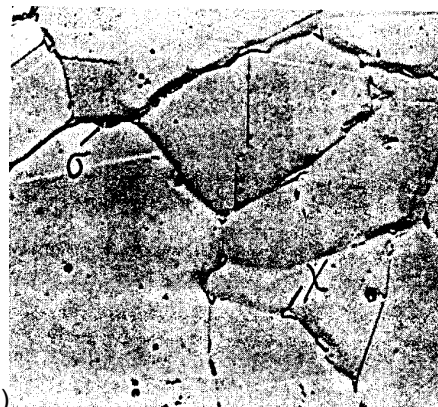
Sigma ( $\sigma$ -faza) je naziv za tvrdo i krto intermetalno jedinjenje, koje se formira u nerđajućim čelicima nakon dužeg ili kraćeg zadržavanja na temperaturama ispod 900 °C i izdvaja po granicama zrna (sl.7). Izdvajanje  $\sigma$ -faze smanjuje žilavost i povećava krtost čelika, što prikazuje sl. 8 za čelike hemijskog sastava iz tab. 1.

Čelik	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Nb/Ta	N
A	0.07	0.49	1.61	13.98	9.53	0.05	1.06	0.044
B	0.09	0.64	0.61	16.08	11.95	0.05	1.12	0.060
C	0.10	0.50	0.41	17.84	9.50	0.05	1.22	0.038
D	0.12	0.78	1.41	18.46	12.13	0.17	1.33	0.053

Tabela 1. Hemijski sastav čelika sa sl. 8.



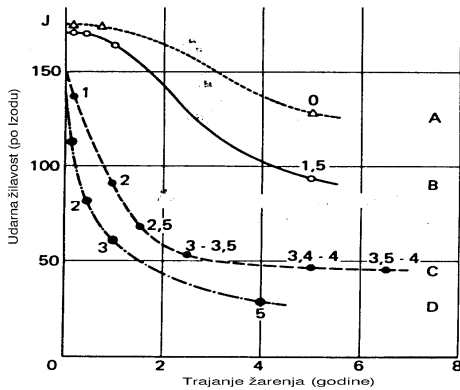
a)



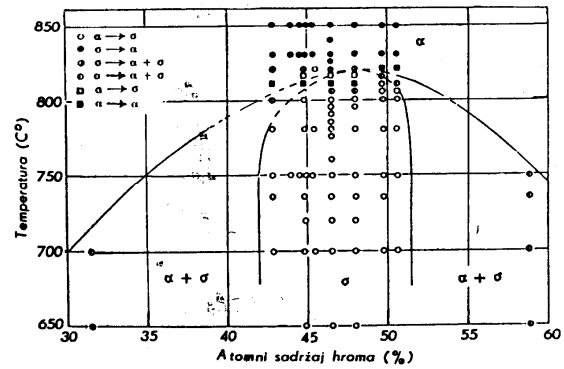
b)

Slika 7. Izdvajanje sigma-faze po granicama austenitnog zrna pri žarenju 100 časova na temperaturi 850°C čelika:

a) 18Cr-13Ni-3Mo-0,02C b) 18Cr-13Ni-3Mo-0,01C-0,1N



Slika 8. Udarna žilavost austenitnih CrNi čelika stabilizvanih Nb nakon žarenja na 650°C



Slika 9. Dijagram stanja sistema železo-hrom u oblasti sigma faze

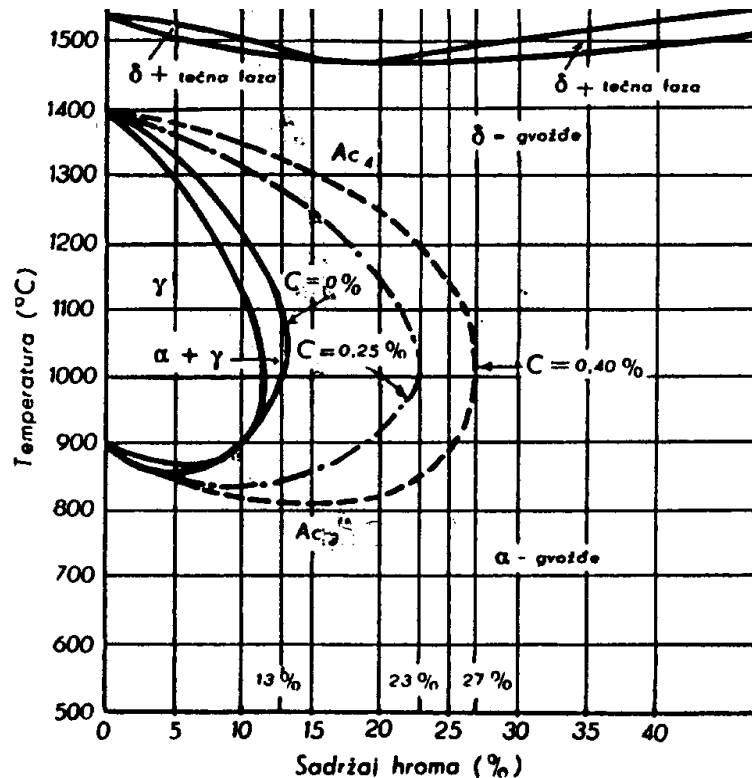
Na proces obrazovanja sigma faze najviše utiču:

- sadržaj alfa genih elemenata (Si, Sl, Ti, Mo, Nb), koji doprinose obrazovanju sigma-faze obogaćene hromom, i olakšavaju transformaciju  $\sigma$ -faze usled prisustva ferita;
- sadržaj elemenata koji obrazuju karbide (Ti, Nb, Zr) zbog pomeranja tačke na dijagramu ka strani sa povećanom koncentracijom hroma, što olakšava obrazovanje sigma-faze;
- zagrevanje u oblasti kritičnih temperatura;
- intenzivna hladna deformacija metala (olakšava izlučivanje sigma-faze).

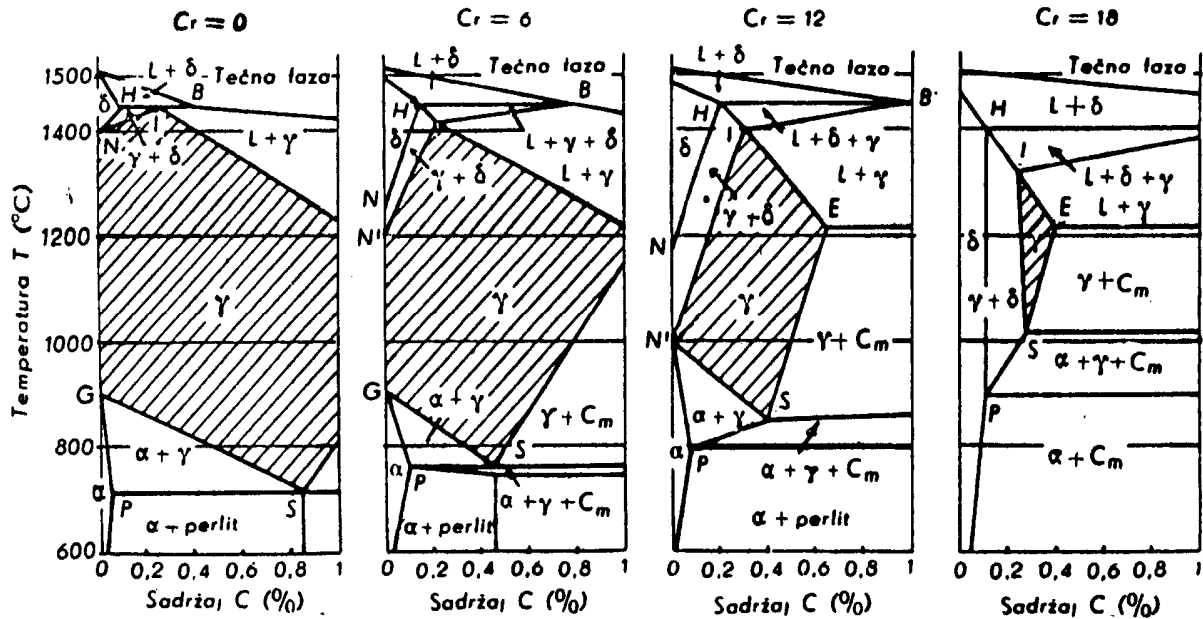
Najpouzdanije sredstvo za sprečavanje obrazovanja sigma-faze je povećanje koncentracije nikla (npr. korišćenje čelika tipa 23Cr-28Ni umesto čelika 25Cr-20Ni).

### Uticaj ugljenika

**Ugljenik (C)** je gamageni element jer širi  $\gamma$ -oblast (sl. 10). Ugljenik sa ostalim sastojcima legure Fe-Cr stvara više složenih karbida (vidi "obrazovanje karbida"). Od posebnog značaja je međusobno dejstvo ugljenika i hroma. Dijagram na sl.11 omogućava praćenje izmena linije transformacije dijagrama stanja sistema železo-ugljenik u zavisnosti od sadržaja hroma. Tačke G i N se približavaju, zatvarajući  $\alpha$ -oblasti i šireći oblasti  $\gamma$  i  $\alpha+\gamma$ . Iznad sadržaja 6% Cr pojavljuje se trofazna oblast  $\alpha+\gamma$ +karbidi, koja se širi sa povećanjem sadržaja hroma.



Slika 10. Uticaj ugljenika na širenje  $\gamma$ -oblasti

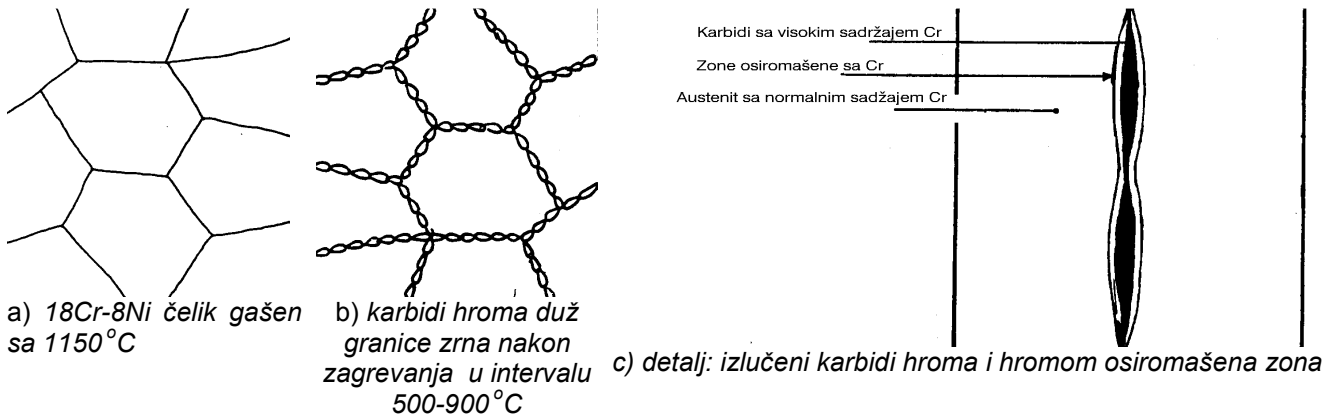


Slika 11. Uticaj hroma na pomeranje linija dijagrama stanja sistema železo-ugljenik (Cm-karbid)

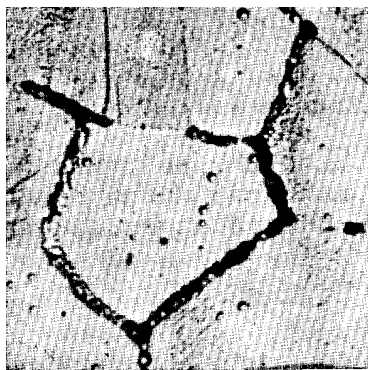
**Izlučivanje karbida**

Ugljenik se u austenitnim i feritno-austenitnim čelicima, na temperaturi iznad SE linije, nalazi u čvrstom rastvoru. Lagano hlađenje čelika dovodi do izlučivanja ugljenika u obliku karbida hroma, koji se razmešta po granicama zrna

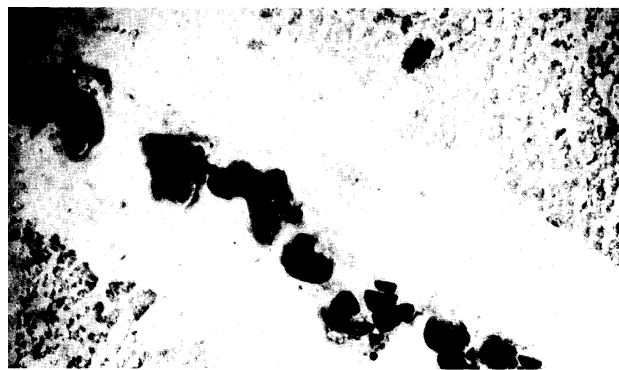
Shematski prikaz izlučivanja karbida hroma dat je na sl. 12. Rentgenskom analizom izlučenih karbida u čeliku tipa 18Cr-10Ni utvrđeno je da oni odgovaraju obliku  $Cr_{23}C_6$ . Na sl. 13 prikazan je snimak, granice zrna i okoline dobijen elektronskom mikroskopijom.



Slika 12. Shematski prikaz izlučivanja karbida hroma



a) uvećanje x1200



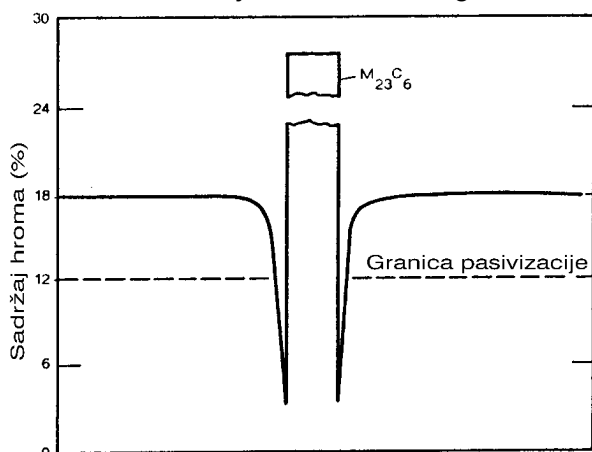
b) x40000 tamna mesta: karbidi Cr; svetla mesta: oblast osiromašena Cr  
Slika 13. Struktura austenitnog čelika sa 0,09%C žarenog 1 čas na temperaturi 680°C



Pri brzom hlađenju (gašenju) austenitnih čelika raspadanje čvrstog rastvora ne uspeva da se potpuno završi, pa se austenit fiksira u prezasićenom i nestabilnom stanju. Količina izdvojenih karbida zavisi, pored brzine hlađenja, i od sadržaja ugljenika u čeliku. Pri sadržaju ispod 0,03% (granica rastvorljivost ugljenika u austenitu) sav ugljenik ostaje u čvrstom rastvoru.

Ako se čelik u kome nije došlo do izdvajanja karbida zagreva, pokretljivost i difuziona sposobnost atoma se povećava, a time i sposobnost ponovnog uspostavljanja ravnoteže u čvrstom rastvoru, u kome je austenit fiksiran u prezasićenom i nestabilnom stanju. To dovodi do obrazovanja i izdvajanja karbida iz prezasićenog čvrstog rastvora. Taj proces počinje na temperaturama 400-500 °C, ali se, usled male brzine difuzije, proces obrazovanja karbida odvija lagano.

S obzirom da je brzina difuzije hroma manja od brzine difuzije ugljenika, hrom koji se vezuje u karbid, izvlači se iz najbližih oblasti do granice zrna,

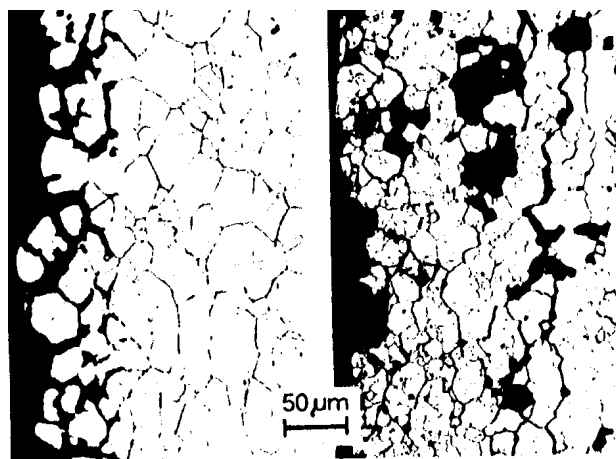


Slika 14. Shematski prikaz promene sadržaja hroma pri izlučivanju karbida  $Cr_{23}C_6$

što dovodi do lokalnog osiromašenja rastvora hromom (sl. 14). Debljina osiromašenog sloja je nekoliko stotina  $\mu m$ , a sadržaj hroma može da opadne i do 7 do 8%, što bitno smanjuje otpornost čelika prema koroziji. U kontaktu sa korozionim mediumom dolazi do pojave međukristalne korozije i razaranja po granicama zrna (sl. 15).

Sa porastom temperatura (600-700 °C) brzina difuzije je veća pa je i obrazovanja karbida brže a karbidi su krupniji. Na temperaturama 800-900°C karbidi se veoma brzo obrazuju i koaguliraju. Zahvaljujući velikoj brzini difuzije, hrom koji se vezuje u karbide, izvlači se iz dubljih oblasti zrna, pa je i lokalno osiromašenje hromom nešto manje.

Osim karbida hroma  $Cr_{23}C_6$ , koji je karakterističan za austenitne i austenitno-feritne čelike, u nerđajućim čelicima mogu da se obrazuju i karbidi hroma tipa  $Cr_7C_3$ ,  $Cr_3C_2$ . Koji će se tip karbida hroma obrazovati, odnosno koji će tip karbida preovlađivati zavisi prvenstveno od sadržaja hroma i ugljenika.



Slika 15. Primer međukristalne korozije čelika 18Cr-10Ni

Izlučivanje karbida hroma iz čvrstog rastvora zavisi od hemijskog sastava, vremena zadržavanja u oblasti kritičnih temperatura, prisustva stabilizirajućih elemenata i strukture.

#### Uticao hemijskog sastava

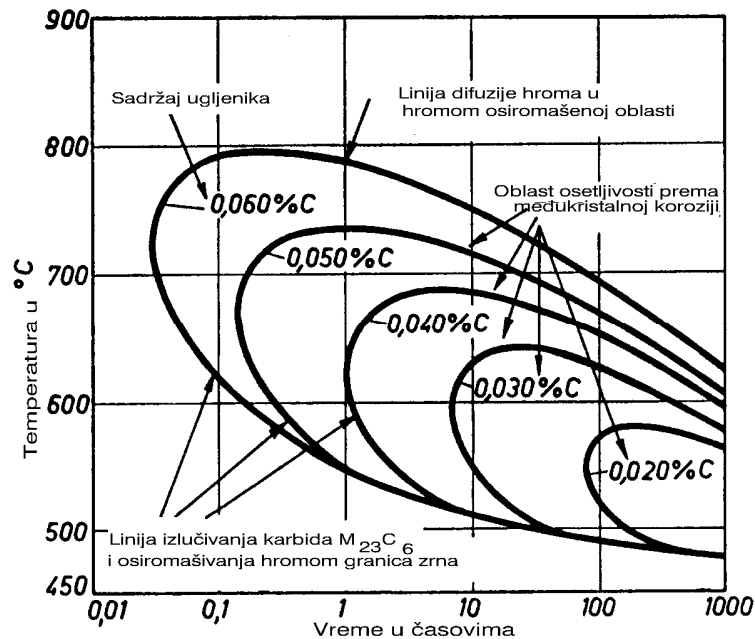
Ugljenik ima dominantan uticaj na obrzovanje karbida, pa se zato teži da se njegov sadržaj održi ispod granice rastvorljivosti. Za čelike tipa 18Cr-8Ni sadržaj C treba da bude ispod 0,02%.

Za procese prerade čelika koji se odlikuju velikim brzinama (npr. zavarivanje) maksimalna koncentracija može da bude do 0,05% (sl. 16).

Sadržaj hroma mora biti usklađen sa sadržajem ugljenika. Za austentine čelike sa približno 10% Ni odnos između najviše koncentracije hroma i ugljenika dat je izrazom  $Cr \geq 80C + 16,8$ . To znači da

kod čelika sa 18%Cr koncentracija ugljenika može da bude najviše 0,015%. Dodavanjem molibdena usporava se proces obrazovanja karbida hroma. Ukoliko se u čelik tipa 18Cr-10Ni uvede 3%Mo može da se dopusti i sadržaj ugljenika do 0,036%. Nikal pospešuje obrazovanje karbida hroma pa sa povećanjem njegove koncentracije treba smanjivati sadržaj ugljenika (npr. najviši sadržaj od 0,05%C je u čeliku 18Cr-8Ni a u čeliku 18Cr-12Ni mora se smanjiti na najviše 0,021%).

Sa povećanjem vremena zadržavanja čelika u kritičnom temperaturnom intervalu ova oblast se neznatno pomera ka strani nižih temperatura (vidi sl. 16). Za praktičnu primenu neophodno je poznavanje brzine obrazovanja karbida hroma u intervalu kritičnih temperatura.



Slika 16. Shematski prikaz oblasti obrazovanja karbida i pojave međukristalne korozije kod čelika tipa 19Cr-10Ni

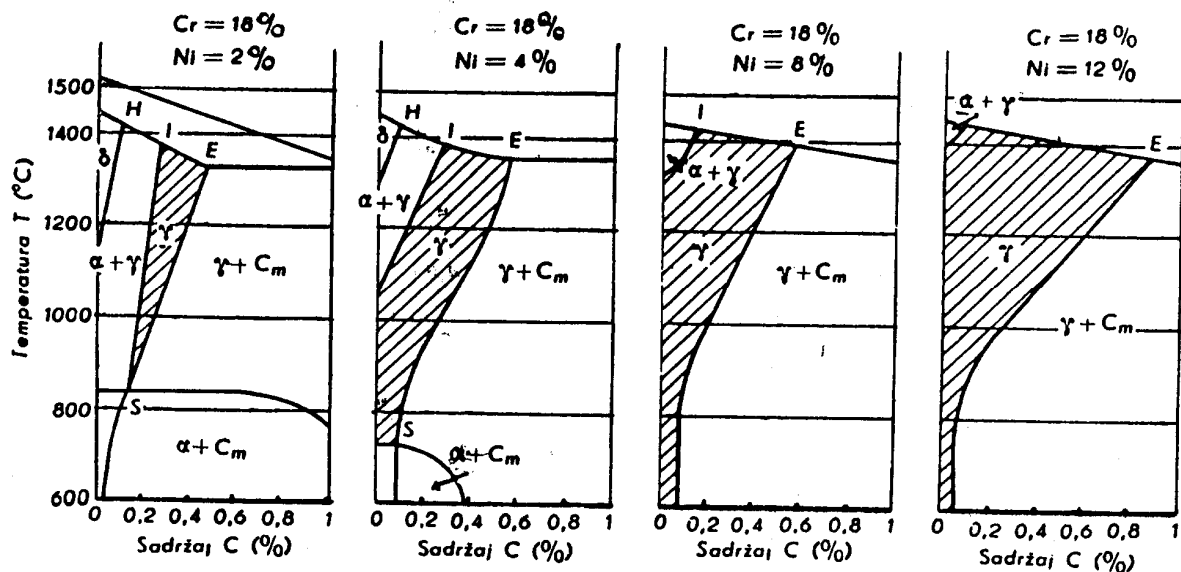
Uvođenje u austenitne nerđajuće čelike, stabilizirajućih elemenata (npr. Ti, Nb), koji imaju veći afinitet prema ugljeniku od hroma, dovodi do izlučivanja njihovih karbida (TiC, NbC) i zaustavljanje procesa obrazovanja karbida hroma i osiromašjenja hromom čvrstog rastvora na granicama zrna. Za sadržaj stabilizirajućih elemenata važe odnosi:  $Ti/C=4$ ;  $Nb/C=8$ .

Prisustvo  $\delta$ -ferita snižava kritičnu temperaturu. Tako npr. kod čelika sa 0,05% C, koji ima kritičnu temperaturu 750°C, pri povećavanju količine ferita u

njegovoj strukturi do 25%, kritična temperatura se snižava na 500°C.

#### Uticaj ostalih legirajućih elemenata i primesa

**Nikl** je gamageni element, tj. stabilizator  $\gamma$  faze, delimično rastvorljiv u feritu i neograničeno u austenitu, ne gradi karbide i naglo spušta tačke  $A_1$  i  $A_3$  i delimično  $M_s$  i  $M_f$ . Uvođenjem nikla u sistem železo-hrom pri 18% Cr širi se  $\gamma$ -oblast i nestaje oblast  $\gamma$  i  $\gamma$ +karbidi, pomerajući eutektoidnu tačku naniže (sl. 17).



Slika 17. Uticaj nikla na širenje  $\gamma$ -oblasti kod čelika sa 18% Cr

Čelici sa 18% Cr i 2% Ni osetljivi su prema kaljenju. Pripadaju čelicima martenzitnog tipa, isto kao čelici koji sadrže 13% Cr, ali bez nikla. Čelici sa 4% Ni

posle kaljenja sa 900°C imaju martenzitnu strukturu. Ukoliko temperatura kaljenja nije manja od 1100 °C ovi čelici imaju austenitnu strukturu,



koja je nestabilna i razlaže se pri otpuštanju. Počev od koncentracije nikla iznad 5% oblasti  $\alpha$  i  $\alpha$ +karbidi nestaju, a pri sadržaju 8% Ni praktično se zapaža samo struktura austenita i  $\gamma$ +karbidi. Čelici sa 18%Cr i 8%Ni, koji su najrasprostranjeniji, pri niskim sadržajima ugljenika imaju stabilnu jednofaznu austenitnu strukturu. Austenitna oblast se širi sa povišenjem sadržaja nikla, naročito na temperaturama iznad 1000 °C, što svedoči o povećanju rastvorljivosti ugljenika sa povišenjem koncentracije nikla (npr. iznad temperature do 1200°C rastvorljivost ugljenika je 0,4% za čelike 18Cr-8Ni a 0,6% za čelike 18Cr-12Ni). Nikl poboljšava osobine čelika na niskim temperaturama. Ova osobina se povezuje s činjenicom da kritična tačka martenzitne transformacije opada sa povećanjem sadržaja nikla. Nikal do sadržaja od 10% povišuje napon tečenja i zateznu čvrstoću. Nikl se koristi u količinama 0,3 do 30%.

**Molibden** (Mo) je alfageni element, stabilizuje  $\alpha$ -fazu i znatno sužava austenitno područje. Molibden podiže granice  $A_1$ ,  $A_3$  i  $A_{cm}$  i solidus liniju, a spušta  $M_s$ . Rastvorljiv je delimično u feritu i neznatno u austenitu. Gradi karbide i rastvorljiv je u mnogim karbidima. Povećava postojanost karbida. Molibden utiče ne samo kao legirajući element koji određuje strukturno stanje čelika, već i kao element koji doprinosi hemijskoj postojanosti čelika u nekim korozionim sredinama (npr. u nekim kiselinama ili sredinama zasićenim jonima  $Cl^+$ ), prema kojima je postojanost hroma nedovoljna.

**Mangan** (Mn) je gamageni element, povećava stabilnost austenita u austenitnim CrNi čelicima. Naglo spušta  $A_1$  i  $A_3$ , a i  $M_s$  i  $M_f$ . Mangan je ograničeno rastvorljiv u feritu i neograničeno u austenitu (dok je mali sadržaj ugljenika). Pri višim sadržajima ugljenika gradi karbide. Vezuje sumpor (S) u MnS i na taj način neutrališe negativno dejstvo sumpora. Mangan može delimično ili potpuno da zameni nikal. Postoje hrom-manganski i hrom-nikal-manganski čelici, koji u najvećem broju slučajeva imaju dvofaznu strukturu. Iznad sadržaja od 11% Mangana daje tzv. manganski čelik koji se odlikuje dobrom otpornošću na udar, koja potiče od austenita. Sa povišenjem sadržaja mangana povećava se i zatezna čvrstoća (do 3% Mn raste proporcionalno 100 N/mm<sup>2</sup> za svaki 1% Mn) i čvrstoća popuštanja, a smanjuje se udarna žilavost.

**Silicijum** (Si) je alfageni element. Neznatno podiže  $A_1$ ,  $A_3$  i  $A_{cm}$ . Ne utiče na  $M_s$  i  $M_f$ . Sa povećanjem sadržaja silicijuma povišuje se zatezna čvrstoća (oko 100N/mm<sup>2</sup> po 1% Si) i napon tečenja, a smanjuje udarna žilavost i sposobnost deformisanja. Silicijum deluje dezoksidirajuće. Silicijum povišava postojanost prema oksidaciji austenitnih CrNi čelika pri delovanju agresivnih

gasova u uslovima povišenih temperatura. Otpornost prema oksidaciji postiže se stvaranjem  $SiO_2$ .

**Aluminijum** (Al) je alfageni element. Podiže  $A_1$ ,  $A_3$ ,  $A_{cm}$ , a i  $M_s$  granicu. Delimično je rastvorljiv u feritu i neznatno u austenitu. Ne stvara karbide, niti je rastvorljiv u njima. Aluminijum ima jako dezoksidirajuće dejstvo. Stvaranjem  $Al_2O_3$  usporava oksidaciju na visokim temperaturama.

**Titan** (Ti) je alfageni element, čiji se sadržaj u nerđajućim čelicima kreće u granicama 0,4 do 0,5%, tj, četiri puta više od sadržaja ugljenika. Titan se uvodi u čelik da bi suzbio štetan uticaj ugljenika. Ima veći afinitet prema ugljeniku od hroma i obrazuje karbide titana koji prethode obrazovanju karbida hroma pri zadržavanju čelika na temperaturama oko 700 °C. Titan gradi  $TiO_2$  koji sprečava rast zrna. Ubraja se među elemente koji najefikasnije usitnjavaju zrno. Ova osobina, koja je jako izražena kod niskolegiranih čelika, kod austenitnih čelika je slabije izražena.

**Niobijum** (Nb) je alfageni element. Pokazuje pozitivan uticaj na osobine vatrostalnih legura sa visokim sadržajem hroma i nikla (npr: legure 25Cr-20Ni, 25Cr-12Ni), pomažući širenje oblasti feritne faze. Kao ititan i niobium ima veći afinitet prema ugljeniku od hroma i gradi brže karbide od hroma. Dopušteni sadržaj niobiuma u nerđajućim čelicima je deset puta veći od sadržaja ugljenika, međutim u austenitnim čelicima tipa 18Cr-8Ni se ne preporučuje veća koncentracija niobiuma od 1%.

**Volfram** (W) je alfageni element. Znatno sužava područje austenita i podiže granice  $A_1$ ,  $A_2$ ,  $A_{cm}$  i solidus liniju. Rastvorljiv je delimično u feritu i veoma malo u austenitu. Rastvorljiv je u mnogim karbidima i povećava postojanost. Pri višim sadržajima volframa gradi veoma tvrde karbide i povećava tvrdoću čelika koja se zadržava i pri višim temperaturama. Pri povećanju sadržaja volframa povećava se zatezna čvrstoća, čvrstoća popuštanja i tvrdoća na sobnoj i povišenim temperaturama.

**Vanadijum** (V) je alfageni element pa sužava austenitno područje. Neograničeno je rastvorljiv u feritu i neznatno u austenitu. Stvara veoma tvrde karbide čime se zaprečava rast zrna, te se ubraja u elemente koji efikasno usitnjavaju zrno. Sa povišenjem sadržaja vanadijuma iznad 0,05% povećava se otpornost prema starenju. Sa povišenjem sadržaja vanadijuma povećava se otpornost prema oksidaciji na povišenim temperaturama.

**Azot** (N) je snažan gamageni element koji širi  $\gamma$ -petlju. Azot obrazuje tvrde i krte nitride. Kao primesa azot izaziva starenje čelika, a time smanjuje udarnu žilavost i povećava krtoš i tvrdoću. Azot u prisustvu



Al, Nb i V pozitivno deluje na usitnjavanje zrna čelika.

**Bakar** (Cu) je gamageni element koji lagano spušta  $A_1$ ,  $A_3$ ,  $M_s$  granice. Iako je gamageni element bakar ne pokazuje primetan uticaj na strukturu nerđajućeg čelika, kome se dodaje prvenstveno radi poboljšanja hemijske postojanosti u nekim agresivnim sredinama.

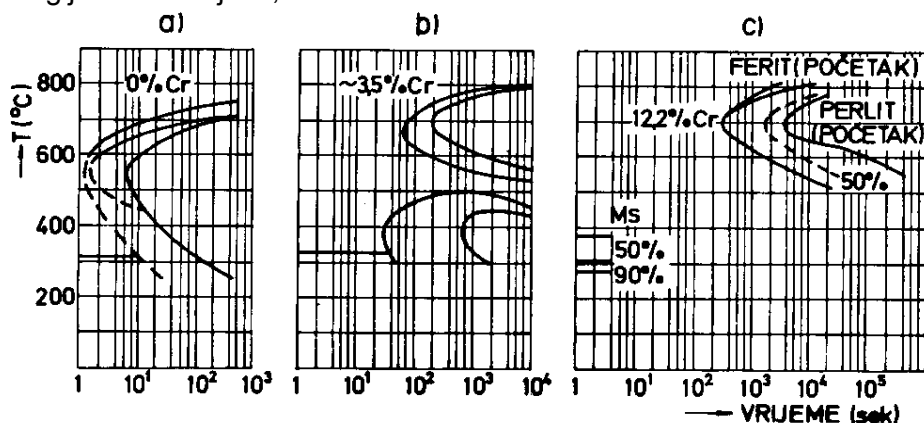
### HROMNI NERĐAJUĆI ČELICI

Prema uticaju hroma na položaj  $\gamma$ -oblasti u legurama Fe-Cr a takođe i u hromnim čelicima, koji sadrže ugljenik, uslovno se mogu izdvojiti u tri oblasti: legure sa  $\gamma \leftrightarrow \alpha$  transformacijom, legure bez  $\gamma \leftrightarrow \alpha$  transformacije i legure sa delimičnom transformacijom.

Temperaturna oblast postojanja  $\alpha$  čvrstih rastvora u hromnim čelicima znatno se menja u zavisnosti od sadržaja hroma i ugljenika u njima, mada ona

zavisí, u manjem obimu, i od sadržaja drugih legirajućih elemenata (Ni, Mo). Prisustvo hroma u čelicima znatno snižava kritične brzine hlađenja, što je povezano sa usporavanjem procesa transformacije  $\gamma \rightarrow \alpha$ . Zbog toga se u hromnim čelicima martenzitet, kao posledica bezdifuzionog preobražaja austenita, može dobiti pri znatno manjim sadržajima ugljenika i manjim brzinama hlađenja nego kod ugljeničnih konstrukcionih čelika (sl. 18).

Pri višim sadržajima hroma (sl. 18c), postojanost austenita je toliko velika da, čak pri temperaturi najmanje postojanosti ( $700^\circ\text{C}$ ) za njegovo raspadanje je potrebno oko 300 sek. Pri neprekidnom hlađenju (npr. kao kod zavarivanja), brzina hlađenja u oblasti temperatura 800 do  $650^\circ\text{C}$  od  $0,2^\circ\text{C}/\text{sek}$ . dovodi do dobijanja potpune martenzitne strukture.



**Slika 18.** Dijagram izotermičkog preobražaja hromnih čelika sa različitim sadržajima hroma (a) 0,4% C i 0% Cr; (b) 0,4% C i 3,5% Cr; (c) 0,11% C i 12,2% Cr.

Prema sadržaju hroma i ugljenika, pri uobičajenom sadržaju primesa, i njihovom uticaju na kristalnu rešetku, odnosno prema strukturi na sobnoj temperaturi hromni čelici mogu da se podele na martenzitne, martenzitetno-feritne i feritne.

#### Martenzitetni čelici

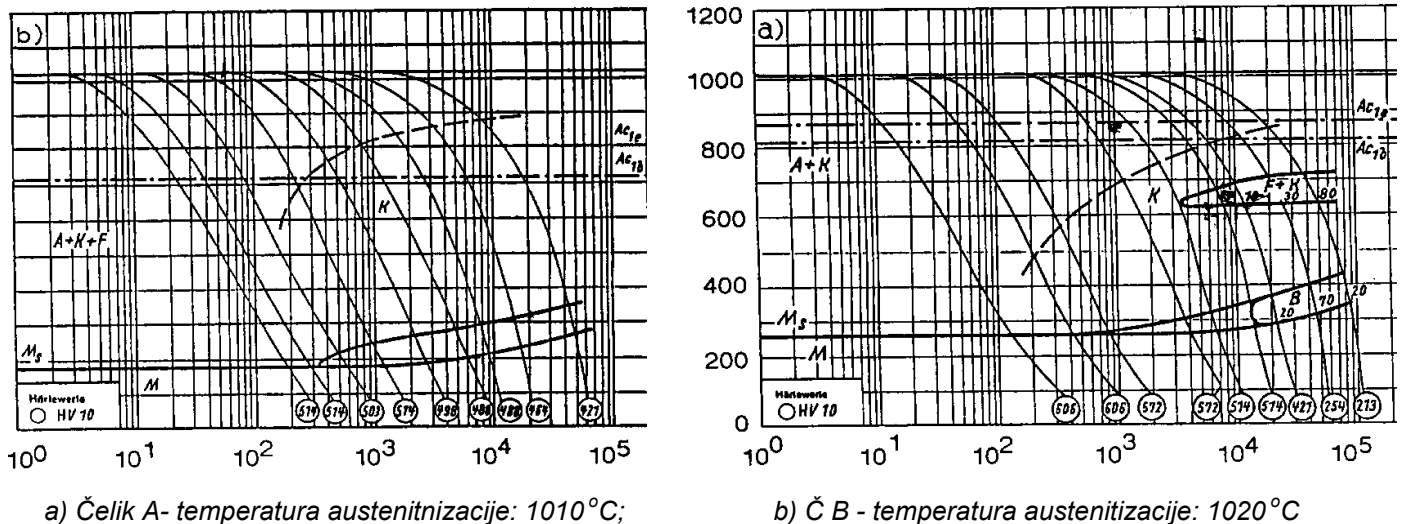
Kod čelika sa visokim sadržajem hroma uvođenje gamagenih elemenata kao što su ugljenik, azot i nikal, dovodi do širenja austenitne oblasti. Ovi čelici imaju oblast austenita pri visokim temperaturama, a posle hlađenja, čak i sa umerenim brzinama, na sobnoj temperaturi dobijaju martenzitetnu strukturu.

Ukoliko ne dođe do potpune transformacije pri zagrevanju, pri hlađenju će se dobiti mešana martenzitetno-feritna struktura, pri čemu povišenje sadržaja hroma, uz konstantan sadržaj ugljenika, pogoduje povećanju feritne faze u strukturi. Potpuna transformacija postiže se visokim sadržajem ugljenika i/ili nikla. Martenzitetni čelici se razlikuju od drugih nerđajućih čelika po visokoj tvrdoći i zateznoj čvrstoći. Optimalne mehaničke osobine

(velika čvrstoća uz dovoljno veliku plastičnost) postiže se posle dvostruke termičke obrade (kaljenje i visoko otpuštanje). Zavisno od primenjene termičke obrade dobija se struktura otpuštenog martenzita i izlučenih karbida.

Termička obrada martenzitetnih nerđajućih čelika sastoji se od kaljenja sa temperaturama od  $980$  do  $1100^\circ\text{C}$  (zavisno od sadržaja ugljenika u čeliku) u ulju ili vazduhu, i visokog otpuštanja sa temperaturama iznad  $600^\circ\text{C}$ . Brzina hlađenja kod kaljenja se bira tako da se postigne potpuna transformacija u martenzitet. U poređenju sa niskolegiranim čelicima za poboljšanje kod hromnih martenzitetnih čelika transformacija je direktno u martenzitet, odnosno pri usporenom hlađenju u perlit (sl. 19).

Pri opuštanju martenzitetnih hromnih čelika sa temperaturama iznad  $500^\circ\text{C}$  smanjuju se zatezna čvrstoća i čvrstoća popuštanja, a raste plastičnost. Otpuštanje sa temperatura između  $500$  i  $600^\circ\text{C}$  se ne preporučuje zbog pada korozijske otpornosti usled izlučivanja karbida.



a) Čelik A - temperatura austenitizacije: 1010°C;

b) Č B - temperatura austenitizacije: 1020°C

**Slika 19.** CCT dijagram različitih nerđajućih martenzitnih čelika pri kontinualnom hlađenju

Negativan uticaj otpuštanja na temperaturama ispod 600 °C usled izlučivanja karbida ne oseća se kod niki-martenzitnih čelika, kod kojih je ulogu ugljenika preuzeo niki. Osobine ovih čelika se poboljšavaju analogno hromnim martenzitnim čelicima. "Kaljenje" se obavlja sa temperature razlaganja između 950 i 1050°C. Pri temperaturi otpuštanja između 500-600 °C smanjuje se čvrstoća usled izlučivanja stabilnog austenita u fino dispergovanim česticama. Pri višim temperaturama otpuštanja opada stabilnost novostvorenog austenita i on se transformiše pri hlađenju u martenzit.

### FERITNI ČELICI

Nerđajući hromni čelici sa visokim sadržajem Cr i niskim sadržajem C zadržavaju feritnu strukturu na bilo kojoj temperaturi. Visok sadržaj Cr i prisustvo drugih alfa genih elemenata (Ti, Si, Al, Nb) tako sužava austenitno područje da praktično nema nikakve transformacije.

Temperatura žarenja se prilagođava vrsti rastvorenih izlučenih faza. Pošto je difuzija rastvorenih legirajućih elemenata i primesa pri bilo kojoj temperaturi 100 do 1000 puta veća u prostorno centriranoj kubnoj rešetki  $\sigma$ -železa (ferita) nego kod površinski centrirane kubne rešetke  $\gamma$ -železa (austenita), i kako su termički aktivni procesi (rast zrna, izlučivanje faza) mnogo brži u feritnim nego u austenitnim čelicima, mora se obzirivo pristupiti termičkoj obradi feritnih čelika.

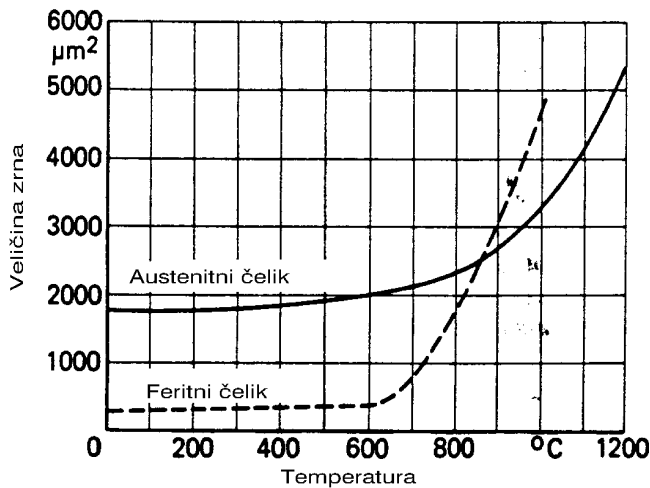
Kod čelika sa 13 do 18% Cr uobičajena završna termička obrada obavlja se u temperaturnom području 750-850°C. Struktura u takvom stanju sastoji se iz globularno formiranih zrna srednje veličine sa većim ili manjim udelom izlučenih

karbida i/ili nitrida. Izborom temperature i vremena trajanja završne termičke obrade može se upravljati procesom rekristalizacije tako da se ostvare potrebne mehaničke osobine feritnih čelika.

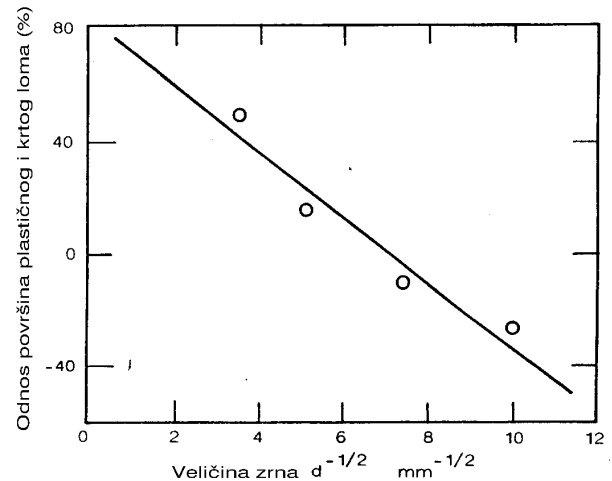
Hromni feritni čelici na temperaturama iznad 900 °C pokazuju sklonost prema brzom rastu zrna (sl. 20). Ova pojava je posebno ubrzana na temperaturama iznad 1050 °C. Povećanje zrna umanjuje čvrstoću ovih čelika ali još više udarnu žilavost na višim i nižim temperaturama. (sl. 21). Legiranje hromom i drugim alfa genim elementima (npr. Mo) utiče da se kod feritnih javlja 475 °C krtoš. Dodaci titana i niobiuma ubrzavaju proces prelaza u krto stanje.

Povećanje sadržaja hroma u feritnim čelicima povećava sklonost ka obrazovanju  $\sigma$ -faze. Povećanje sadržaja elemenata koji povećavaju otpornost prema oksidaciji (Al i Si) povišava temperaturu i skraćuje inkubaciono vreme za početak obrazovanja  $\sigma$ -faze.

Povećanje sadržaja ugljenika i uvođenje azota (približno 1/100 od sadržaja hroma) snižava temperaturni interval prelaza u krto stanje. Takvi dodaci umanjuju sklonost prema brzom rastu zrna na visokim temperaturama. Da bi se feritni čelik mogao koristiti u toplotnim preradama, npr. zavarivanju, potrebno je ograničiti sadržaj ugljenika i azota na najviše 0,03% i dodatno ga stabilizovati niobiumom, titanom i/ili cirkonijumom. Ograničenje sadržaja ugljenika u feritnim čelicima potrebno je i kada se od čelika zahteva garantovana udarna žilavost na niskim temperaturama. Smanjenjem sadržaja ugljenika na vrednost od 0,002% osigurava se nepromenjena žilavost u širokom rasponu temperatura.



Slika 20. Rast zrna kod feritnih i austenitnih čelika

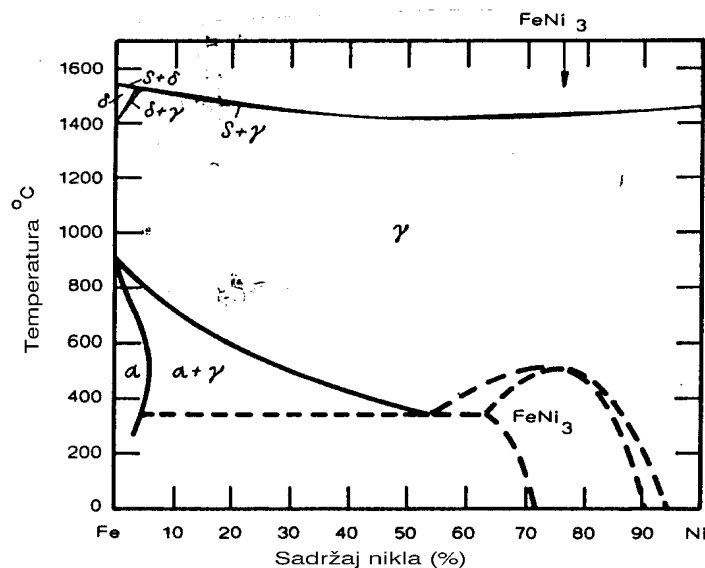


Slika 21. Uticaj veličine zrna na prelaznu temperaturu feritnog čelika

### HROM-NIKL NERĐAJUĆI ČELICI

Nikal bitno proširuje oblast austenita (sl. 22). Austenitizatorsko delovanje nikla u hromnim čelicima je snažnije no u čistom železu tako da je u

čeliku sa više od 15%Cr i 8%Ni austenitna oblast proširena do sobne temperature. Ovi čelici imaju specifičnu austenitnu strukturu i nemagnetični su.



Slika 22. Dijagram stanja legure sistema železo-nikal

Delovanje hroma u prisustvu nikla je drugačije. Hrom sužava  $\gamma$ -oblast, ali u prisustvu nikla istovremeno povećava stabilnost austenita. Hrom, pri određenom sadržaju, zadržava raspadanje austenita pri hlađenju, sužavajući temperaturu martenzitne transformacije i pomerajući udesno perlitnu oblast raspadanja austenita.

Stepen delovanja svakog od ovih elemenata na položaj granica  $\gamma$ -oblasti kod austenitnih CrNi čelika je različit. Ako se uticaj hroma i nikla uzme za jedinicu, tada se uticaj ostalih legirajućih elemenata i primesa može izraziti preko odgovarajućih koeficijenata ekvivalentnosti u odnosu na hrom, odnosno nikal.

Pri sadržaju nikla ispod 1,5% legura se ponaša kao potpuno feritni čelik u toku hlađenja sa visokih temperatura. Iznad ovog sadržaja nikla javlja se temperaturni opseg sa dve faze ( $\delta+\gamma$ ) koji se širi sa povećanjem sadržaja nikla. Legura se ponaša kao poluferitni čelik. Iznad koncentracije 3,5%Ni javlja se određeni temperaturni opseg u koje je legura čisto austenitna. Taj temperaturni opseg se širi sa daljim povišenjem sadržaja nikla. Sve do sadržaja od 10%Ni legura očvršćava u ferit ili sa vrlo velikim sadržajem ove faze. Iznad ovog sadržaja nikla pojavljuje se peritektička reakcija i dolazi do očvršćavanja  $\delta$ -ferita i austenita.



Sadržaj ugljenika u austenitnim CrNi čelicima se kreće oko 0,15%. Pri tom sadržaju ugljenik je potpuno rastvorljiv u čeliku kada je temperatura iznad 1000°C. Međutim pri sporom hlađenju ili kratkotrajnom zadržavanju između 500 i 900 °C mogu da se obrazuju karbidi hroma iz čvrstog rastvora, što smanjuje plastičnost i otpornost prema međukristalnoj koroziji. Zato se austenitni CrNi čelici kale u vodi ili vazduhu, sa visokih temperatura (1100 do 1150 °C). Ovaj postupak je poznat kao gašenje. Držanje na tako visokoj temperaturi omogućava rekristalizaciju metala posle operacije plastičnog oblikovanja i rastvaranje ugljenika, a brzo hlađenje sprečava izdvajanje karbida. Time se obezbeđuje austenitna struktura za koju su vezane njegove optimalne osobine plastičnosti i otpornosti prema koroziji. Do obrazovanja karbida može doći pri ponovnom zagrevanju čelika do odgovarajućih temperatura.

Austenitni CrNi čelici imaju manje vrednosti čvrstoće od feritnih, martenzitnih i niki-martenzitnih čelika. Čvrstoća popuštanja ( $R_{0,2}$ ) na sobnoj temperaturi kod ovih čelika se kreće u granicama 200-250 N/mm<sup>2</sup> dok zatezna čvrstoća ( $R_m$ ) dostiže i 600 N/mm<sup>2</sup>. Istezanje kod ovih čelika dostiže čak 40-50%, što je skoro dvostruka vrednost od one koja se postiže kod feritnih, martenzitnih ili feritno-austenitnih čelika.

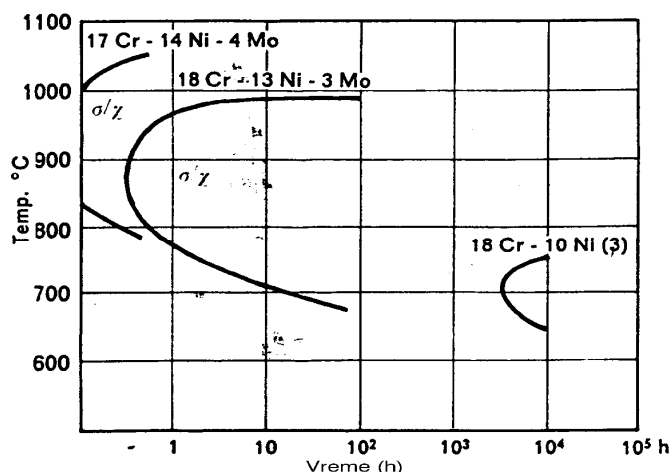
Pri nižim sadržajima Cr i Ni nerđajući austenitni čelici se nalaze blizu granice martenzitno-austenitne oblasti, to znači da je austenit termodinamički nestabilan i da se može hlađenjem na niže temperature ili hladnim deformisanjem na sobnoj temperaturi delimično ili potpuno preobraziti u tzv.  $\alpha'$ -martenzit. Nasuprot nemagnetičnom austenitu  $\alpha'$ -martenzit je magnetičan kao ferit. Za martenzitni preobražaj izazvan hladnim oblikovanjem karakteristična je temperatura oblikovanja  $M_{d30}$ . To je temperatura pri kojoj hladno oblikovanje od 30% izaziva pojavu 50% martenzita.

Što je viša  $M_s$  i  $M_{d30}$  to je manja stabilnost austenita i veće ojačanje hladnim oblikovanjem usled obrazovanja martenzita.

U mnogim slučajevima potrebno je da nerđajući austenitni čelik ima bolje mehaničke osobine, pre svega čvrstoću popuštanja, no što su izlazne karakteristike tih čelika. Ojačanje hladnim oblikovanjem je jedan od čestih načina postizanja ovog cilja. Dalja mogućnost za povišenje čvrstoće austenitnih čelika je ojačanje mešanih kristala austenitna legiranjem. To se postiže supstitucijskim ali i intersticijskim ugrađivanjem atoma legirajućih elemenata.

Najjači uticaj pokazuju ugljenik i azot. Povišenje čvrstoće dodavanjem ugljenika u austenitne čelike ograničeno je padom korozione otpornosti. Azot ima inače ograničenu rastvorljivost u austenitu. Pri hlađenju ili izotermičkom držanju on obrazuje samostalne nitride ili ulazi u sastav izdvojenih karbida, pri čemu zamenjuje ugljenik. Sadržaj azota u standardnim čelicima ne prelazi stoga granicu 0,05%. Dopunsko dodavanje iznad 0,2% poboljšava čvrstoću popuštanja i zateznu čvrstoću. Dodavanjem 0,4% N austenitnom CrNi čeliku može se povisiti čvrstoća popuštanja i do 600 N/mm<sup>2</sup>. Pored navedenog načina ojačanja mešanih kristala viši sadržaj ugljenika i azota povećava čvrstoću i kroz izlučivanje karbida i/ili nitrida.

Naknadnim toplotnim procesima, npr, zavarivanjem, pri zadržavanju austenitnih čelika na temperaturama iznad 500°C, odnosno ispod 900 °C doći će do izlučivanja karbida odnosno obrazovanja  $\sigma$ -faze. Legiranje molibdenom pospešuje obrazovanje  $\sigma$ -faze, skraćujući inkubacioni period i pomerajući oblast nastajanja  $\sigma$ -faze ka višim temperaturama (sl. 23). Kod austenitnih CrNi čelika sa sadržajem više od 2,5%Mo pojaviće se i druga intermetalna jedinjenja, posebno  $\chi$ -faza koja kao i  $\sigma$ -faza smanjuje plastičnost.



**Slika 23.** Obrazovanje  $\sigma$ -faze kod 18Cr-10Ni čelika i  $\sigma$  i/ili  $\chi$ -faze kod 18Cr-13Ni-3Mo i 17Cr-14Ni-4Mo čelika

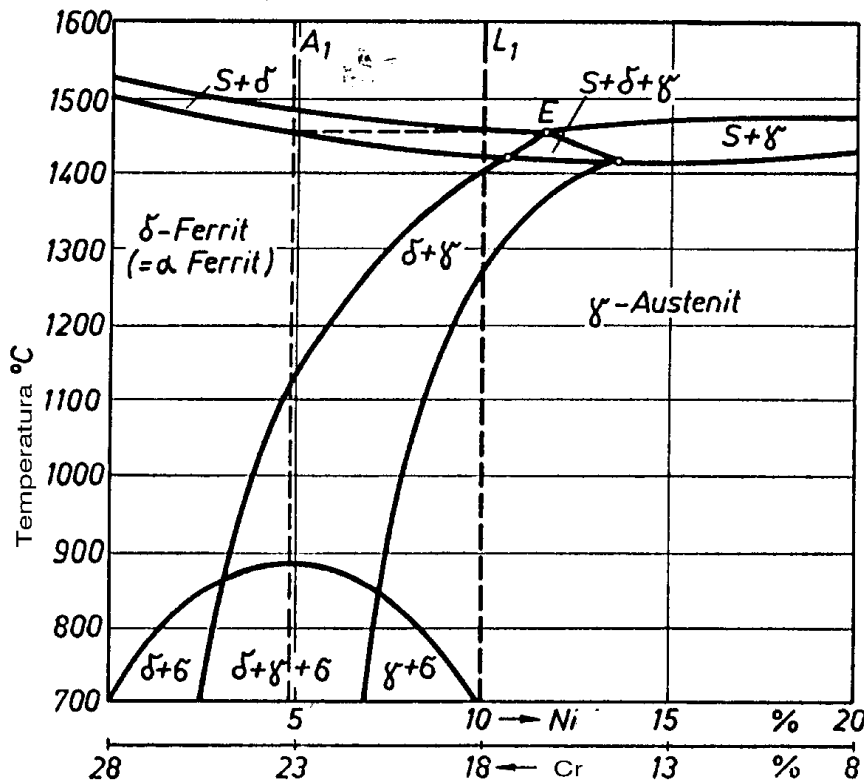


Uvođenje azota u nerđajuće čelike legirane sa molibdenom smanjuje sklonost ka stvaranju izlučenih faza i brzinu njihovog izlučivanja. Ovi čelici takođe poseduju bolju otpornost prema rupičastoj koroziji, kod delovanja agresivnog medijuma koji sadrži hloride.

### Feritno-austenitni čelici

Osnova za nastajanje feritno-austenitne strukture kao i mogućnost za promenu odnosa između ova dva strukturna udela prikazan je na

sl. 24, koja predstavlja pseudobinarni dijagram legura sistema Fe-Cr-Ni sa 75%Fe. Očigledno je da legure bogate niklom (desna strana dijagrama sa sl. 24) očvršćavaju direktno u austenit. Legura bogate hromom (leva strana dijagrama) očvršćavaju u ferit, koji je stabilan do sobne temperature. Kod srednjih sastava oko linije  $L_1$  (čelici 18Cr-10Ni) očvršćavanje će biti feritno ali sa snižavanjem temperature doći će u čvrstom stanju do transformacije u austenit.



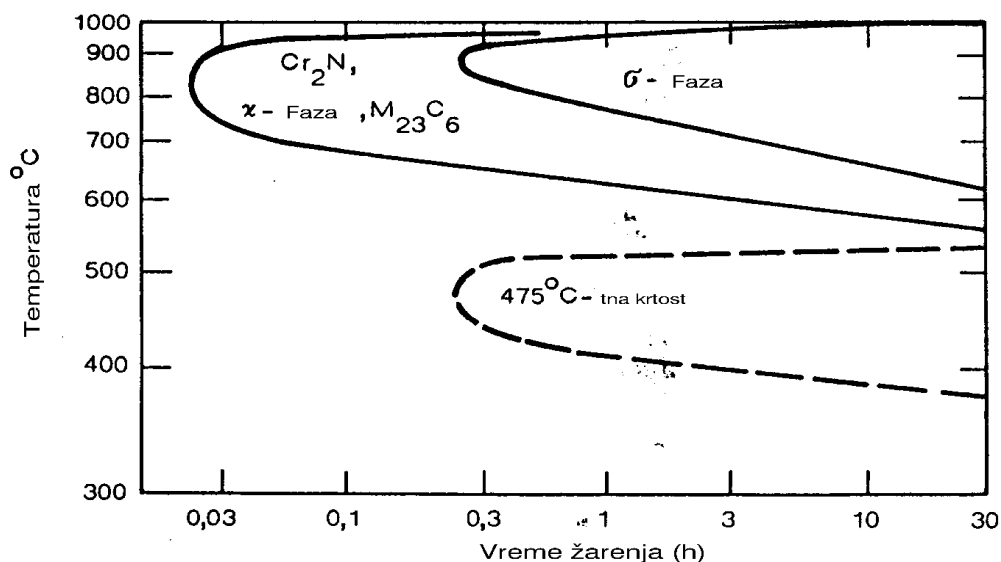
Slika 24. Presek pseudobinarnog dijagrama  
\* legura sistema Fe-Cr-Ni sa 75%Fe

Čelici sa sadržajem hroma 22 do 28% i nikla 4 do 8% leže pri niskim temperaturama u heterogenoj faznoj oblasti: austenit+ferit. Termičkom obradom sa temperatura ispod 1000 °C nije moguće ili nije moguće znatnije promeniti strukturni odnos učešća ferita i austenita.

Za razliku od čisto feritnih odnosno čisto austenitnih čelika termička obrada ne služi kod feritno-austenitnih čelika samo za rastvaranje izlučenih faza već i za preraspodelu učešća strukturnih komponenata. Osobine feritno-austenitnih čelika zavise prevashodno od raspodele učešća obe strukturne komponente kao i od hemijskog sastava. Termičkom obradom se rekristalizuje struktura i izlučene faze rastvaraju. Termičkom obradom se smanjuje zatezna čvrstoća a raste žilavost. Žarenjem na temperaturama iznad 1000 do 1050 °C menja se odnos strukturnih

komponentata u korist ferita i zatezna čvrstoća raste. Zatezna čvrstoća i čvrstoća popuštanja feritno-austenitnih čelika je viša no kod austenitnih odnosno feritnih čelika. Čvrstoća popuštanja dostiže vrednost od oko 500 N/mm<sup>2</sup>. Ova prednost u odnosu na austenitne i feritne čelike ostaje i pri visokim temperaturama.

Žilavost feritno-austenitnih čelika slična je kao kod feritnih čelika, to znači da postoji nagli pad udarne žilavosti sa promenom temperaturnog opsega ispitivanja od visokih do niskih temperatura. Ovakva žilavost posleda je sklonosti ovih čelika ka krtosti, koja je vezana za brzinu hlađenja nakon završne termičke obrade. Kod feritno-austenitnih čelika susrećemo se sa svim oblastima obrazovanja izlučenih faza, o čemu se mora voditi računa pri preradi ovih čelika (sl. 25).



Slika 25. TT dijagram čelika tipa x2CrNiMoN 22 5 3 (Rastvarajuće žarenje: 1050°C/30min/voda)

SHODNO SISTEMU GRUPISANJA MATERIJALA ZA ZAVARIVANJE (ISO/TR 15 608) OBUHVAĆENI SU GRUPAMA 7, 8, (9) i 10.

Standardi za materijale na osnovu osobina značajnih za primenu

Čelici otporni na koroziju	Vatrootporni čelici	Čelici otporni na puzanje
EN 10028-7		EN 10028-7
SRPS EN 10088-2		
EN 10088-3		
	EN 10095	
EN 10151		
EN 10216-5		EN 10216-5
EN 10217-7		
EN 10222-5		EN 10222-5
EN 10250-4		
EN 10263-5		
EN 10264-4	EN 10264-4	
EN 10269		EN 10269
EN 10270-3		
EN 10272		
EN 10296-2		
EN 10297-2		
		EN 10302
EN 10312		

### FIZIČKE I MEHANIČKE OSOBINE

U odnosu na obične konstrukcione čelike legirani specijalni (visokolegirani) čelici imaju:

- značajno lošiju toplotnu provodljivost;
- veću električnu otpornost;

- veće toplotno izduženje;

- niži napon tečenja;

- delimično značajnije povećano izduženje pri zatezanju, i značajno nižu prelaznu temperaturu krtošći (tab.2 i tab.3).



Vrsta (osobine kod 20 °C)	Toplotna provodljivost (W/mK)	Električna otpornost ( $\square$ nm <sup>2</sup> /m)	Toplotno izduženje 20 °C - 100 °C ( $10^{-1}/K$ )	Gustina (kp/dm <sup>3</sup> )	E modul (kN/m <sup>2</sup> )	Magnetičnost
Nelegirani konstrukcioni čelik	60	0,2	12,0	7,8	210	da
Cr čelik ( $\delta$ feritni)	25	0,6	10,5	7,7	220	da
CrNi čelik (austenitni)	15	0,8	16,0 do 19,0	7,9	200	ne
superlegirani CrNi čelici	12	1,0	15,0	8,1	190	ne

Tabela 2. Poređenje fizičkih osobina u odnosu na nelegirani čelik

Vrsta (osobine kod 20 °C)	$R_m$ (N/mm <sup>2</sup> )	$R_{p0,2}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Žilavost Prelazna temperatura (J <sup>o</sup> C)	A (uzduž) (%)
Nelegirani konstrukc. čelik	320–680	235–355	27 J kod -40° C do +20° C	20 -35
Cr čelik ( $\delta$ feritni)	390–600	250–320	25 do 30 J kod 20° C	20 -25
CrNi čelik (austenitni)	540–690	220–240	>80 J kod <20° C	40
superlegirani CrNi čelici	500–800	300	>120 J kod <20° C	40

Tabela 3. Poređenje mehaničkih osobina u odnosu na nelegirani čelik

## DIJAGRAMI STRUKTURA VISOKOLEGIRANIH ČELIKA

Većina visokolegiranih čelika su višekomponentne legure na osnovi binarnih legura Fe-Cr i Fe-Ni.

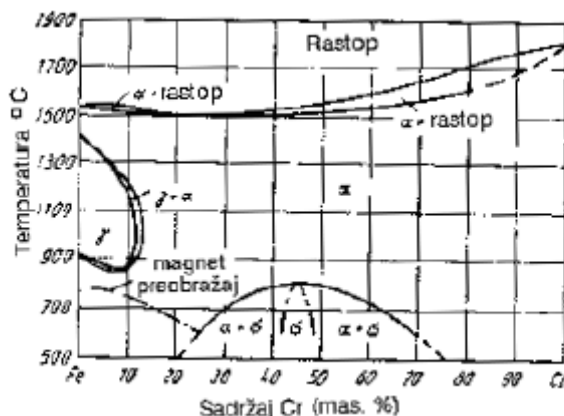
### DIJAGRAM STRUKTURA FeCr LEGURA

U sistemu Fe-Cr, hrom, koji pripada grupi II legirajućih elemenata, sužava  $\gamma$  područje. Pri sadržaju Cr približno do 8% temperatura A3 tačke se snižava do ~ 850 °C, da bi se odmah zatim jako povećala. Tako se pri sadržaju Cr oko 12%, na 1000 °C zatvara  $\gamma$  oblast, a granica  $\alpha+\gamma$  oblasti je kod oko 13% Cr na 1000 °C (sl.26). Prema uticaju sadržaja Cr na položaj  $\gamma$  oblasti mogu se izdvojiti tri grupe legura :

1. Legure sa transformacijom  $\gamma$  u  $\alpha$ , i obrnuto;
2. Legure bez  $\gamma/\alpha$  transformacije;
3. Legure koje imaju samo delimičnu transformaciju (sa mešanim strukturama).

Legure prve grupe koje sadrže i povišen C odnose se na perlitne i martenzitne vrste čelika; legure druge grupe odnose se na feritne, i treće grupe na poluferitne (semiferitne) vrste čelika. (U legurama FeCr i Cr čelicima feritom se naziva struktura i  $\alpha$  i  $\delta$  čvrstog rastvora).

Pri temperaturama ispod 900 °C pri polaganom hlađenju pojavljuje se nova faza, intermetalno jedinjenje sigma faza. Zbog svoje izrazito velike tvrdoće i krтости, u opštem slučaju je nepoželjna u hromnim čelicima.



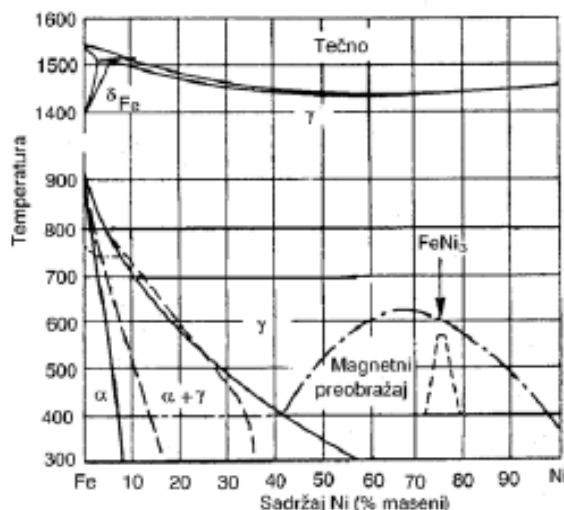
Slika 26. Dijagram stanja Fe-Cr



## DIJAGRAM STRUKTURA FeNi LEGURA

U sistemu Fe-Ni (sl.27), nikel, koji pripada grupi i legirajućih elemenata, izraziti je stabilizator gama ( $\gamma$ ) faze. U količini Ni ispod 6% struktura je feritna, da bi već oko 6% Ni, zbog uticaja na smanjenje

kritične brzine hlađenja, bila delimično martenzitna (niklov martenzit), a kod >6%Ni struktura je martenzitna. U količini 25-30% Ni pri brzom hlađenju struktura je austenitna, da bi iznad 30%Ni, bez obzira na brzinu hlađenja, bila austenitna.

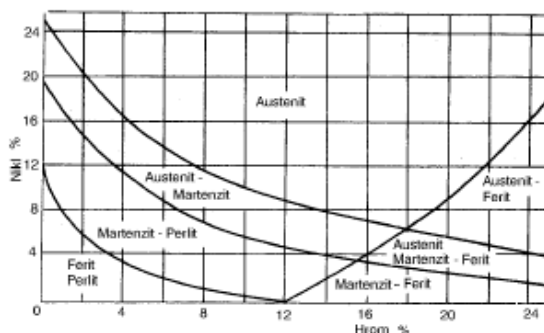


Slika 27. Dijagram stanja legura Fe-Ni

U ovim suprostavljenim uticajima Cr i Ni na  $\gamma$  područje, nastanak određene strukture kod Cr-Ni čelika prevashodno zavisi od sadržaja i odnosa Cr i Ni. U različitim odnosima osnovnih legirajućih elemenata, i uz dodatak drugih legirajućih elemenata, nastaju čelici čisto feritnih, martenzitnih i austenitnih, austenitno martenzitnih i feritno martenzitnih struktura, a time i različitih osobina značajnih za njihovu primenu.

## MAUREROV DIJAGRAM STRUKTURA Fe Cr Ni ČELIKA

Maurer je postavio dijagram (sl.28) uticaja međusobnog odnosa sadržaja Cr i Ni (bez drugih legirajućih elemenata) na nastanak određenih struktura, kao i razgraničenja područja nastanka određenih struktura kod različitih odnosa Cr i Ni, pri polaganom hlađenju Cr-Ni čelika.



Slika 28. Dijagram struktura Fe-Cr-Ni čelika

## ŠEFLEROV DIJAGRAM STRUKTURA Cr-Ni ČELIKA

U čelicima legiranim sa Cr i Ni učestvuju i drugi elementi čiji je uticaj sličan hromu odnosno niklu, te nastanak određene strukture zavisi i od njihovog učešća. Veličinu uticaja drugih elemenata Šefler je postavio u ekvivalentni odnos uticaja Cr i Ni, preko formula Cr ekvivalenta i Ni ekvivalenta:

$$Cr_{eq} = Cr \% + Mo \% + 1,5 Si \% + 0,5 (Ti + Nb) \% \quad (1) \quad Ni_{eq} = Ni \% + 30 (C + N) \% + 0,5 Mn \% \quad (2)$$

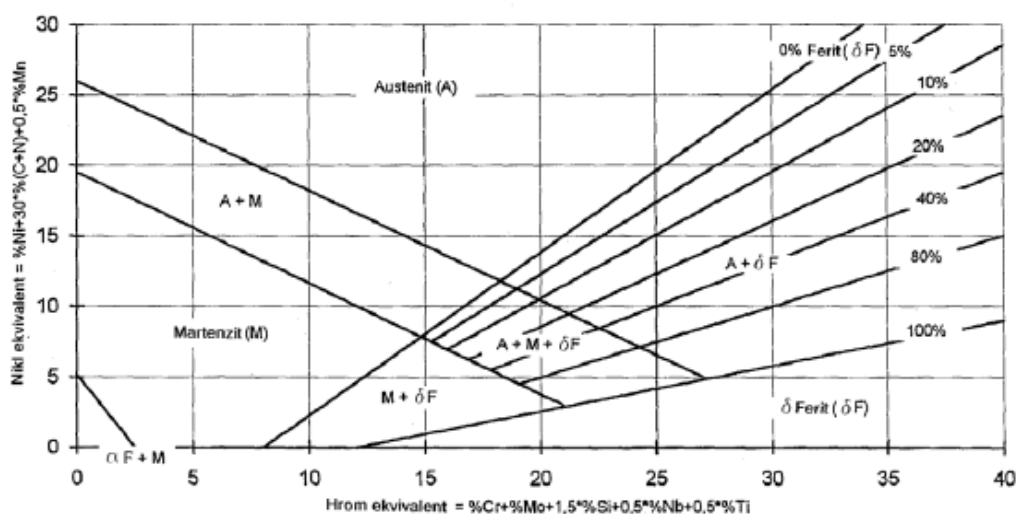
Na osnovi Maurerovog dijagrama, sa veličinom  $Ni_{eq}$  na ordinati i  $Cr_{eq}$  na apcisi, Šefler je konstruisao dijagram za kvalitativnu ocenu područja struktura Cr-Ni čelika određenog sastava (sl. 29).

U primeni za predviđanje struktura metala šava dijagram odgovara za normalno zavarene spojeve, strogo uzevši, samo kod hlađenja na okolnoj



temperaturi. Kod veoma polaganog ili veoma brzog hlađenja dolazi do pomeranja linija i zadržava se samo princip dijagrama. Što je sastav čelika bliži graničnoj liniji određenog strukturnog područja to je

pre moguće da, na osnovu modificiranih uslova hlađenja, nastane drugačija struktura nego što je dato Šeflerovim dijagramom (ovo takođe važi i za razlike između šarži istog materijala).



**Slika 29.** Šeflerov dijagram struktura visokolegiranih CrNi čelika

Šeflerov dijagram odgovara samo za čelike sa nižim sadržajem C, a u okviru graničnih vrednosti sadržaja: C ≤ 0,2 - 0,25 %; Cr ≤ 30 %; Ni ≤ 35 %; Mn ≤ 3,0 %; Mo ≤ 3,0 %; Si ≤ 2,5%.

### Oblasti Šeflerovog strukturnog dijagrama

**Oblast M:** Struktura čistog martenzita. Obrazuje se legiranjem sa min. 2,5% Cr<sub>eq</sub> ili min. 7% Ni<sub>eq</sub>.

**Oblast A:** Struktura čistog austenita (γ). Ako je materijal legiran samo sa Ni<sub>eq</sub> elementima, obrazuje se kod Ni<sub>eq</sub> ≥ 25%. U prisustvu Cr<sub>eq</sub> do 18%, za nastanak čistog austenita Ni<sub>eq</sub> treba da je viši od 10,5%. U prisustvu Cr<sub>eq</sub> ≥ 18 %, Ni<sub>eq</sub> se mora još više povećati. Čelici koji se prema hemijskom sastavu nalaze u ovoj oblasti, zbog nepostojanja fazne transformacije, ne mogu se kaliti i normalizaciono žariti.

**Oblast F:** Struktura delta (δ) ferita nastaje iz rastopa, i pri sniženju temperature se ne preobražava u γ. Ako je legiranje i sa Ni<sub>eq</sub> elementima, da bi struktura bila čist δ ferit mora se povećati Cr<sub>eq</sub>.

Čelici koji se prema hemijskom sastavu nalaze u ovoj oblasti, zbog nepostojanja fazne transformacije, ne mogu se kaliti i normalizaciono žariti. Oblast δF+ M: δFerit i martenzit nastaju transformacijom austenita. To je oblast nelegiranih (npr. S235; C 15) i nisko legiranih čelika.

**Oblast M+δF:** Posle polaganog hlađenja strukture legure su u dvofaznoj oblasti α+δ dijagrama stanja FeCr. Martenzit nastaje transformacijom udela austenita.

**Oblast A+M:** Količina Ni<sub>eq</sub> legirajućih elemenata je tako velika da se deo austenita ne može da transformiše, i na okolnoj temperaturi ostaje kao austenit. Kod niskih temperatura ovaj austenit

može da se transformiše u martenzit (zaostali austenit koji po mogućnosti treba izbeći).

**Oblast δF + A + M:** Zbog visokog sadržaja legirajućih elemenata martenzit se obrazuje samo delimično. Kod niskih temperatura udeo austenita može da se transformiše u martenzit. Udeo δ ferita se ne transformiše.

**Oblast δF + A:** Legure su posle polaganog hlađenja u dvofaznom području δ+γ. Struktura sadrži netransformisani δ ferit i austenit i na veoma niskim temperaturama.

### DIJAGRAM STRUKTURA DE LONGA

U svojoj originalnoj izvedbi Šeflerov dijagram u području struktura A+δF, sa učešćem δ ferita od 0 do 15%, nije dovoljno precizan. Za povećanje tačnosti određivanja učešća δ ferita u austenitnom dodatnom materijalu DeLong je predložio magnetno ispitivanje, na osnovu kojeg je uveo tzv. feritni broj (FN), koji odgovara procentualnom učešću ferita samo do 8%. Linije feritnog broja su paralelne i na međusobno ravnomernom rastojanju. Uvođenjem feritnog broja DeLong je dao novi dijagram ovog odsečka struktura, za kojeg je kod Ni<sub>eq</sub> uzeo u obzir i *uticaj azota*, uvećan sa faktorom 30% (sl.30).

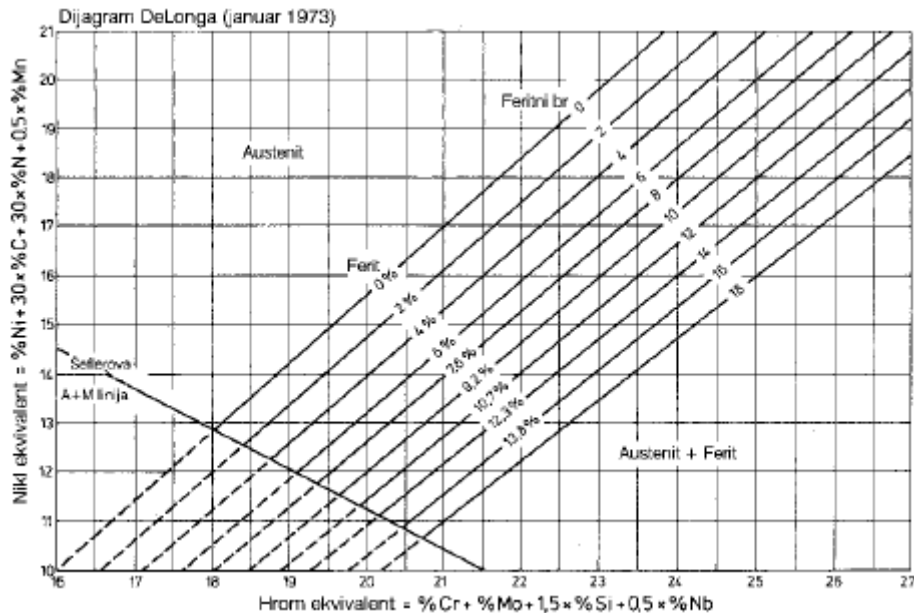
Značaj dijagrama DeLonga je tačnija procena učešća δ ferita u austenitnom metalu šava *koji opredeljuje sklonost ka nastanku vrućih prslina ili krtosti usled izlučivanja*. U ASME-CODE primena dijagrama DeLonga zamenjena je od 1992. g. WRC dijagramom. WRC dijagram (WRC-Welding



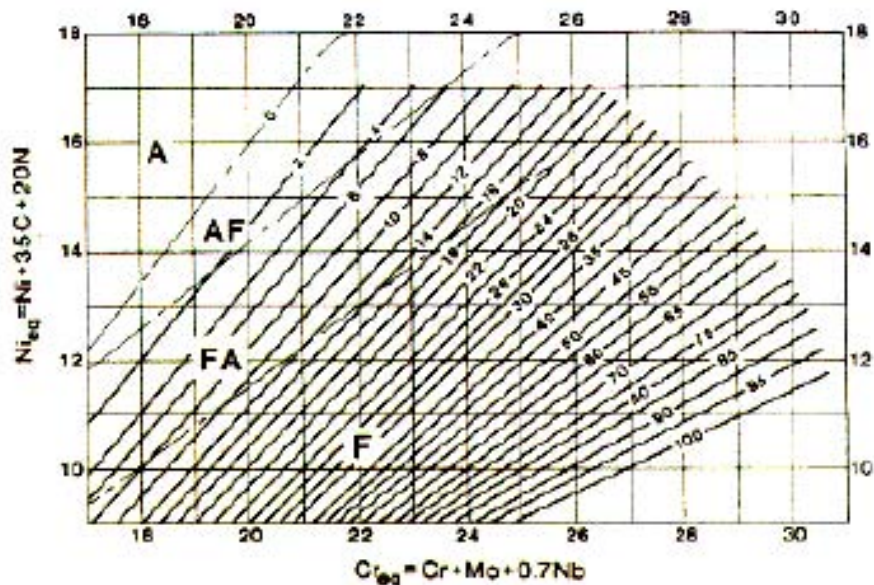
Research Council) sa feritnim brojem od 0 do 100 (1992.g. autori Siewert, McCowan i Olson) je veće tačnosti od dijagrama DeLonga. U Nieq isključen je Mn, a faktori za C i N se razlikuju:  $Cr_{eq} = \%C + \%Mo + 0,7x \%Nb$  (3)  $Nieq = \%Ni + 35 \%C + 20x \%N + 0,25 \%Cu$  (4)

WRC dijagram (sl.31.) služi za predviđanje feritnog broja u visokolegiranom austenitnom, austenitno-

feritnom i feritno-austenitnom metalu šava. Dijagramom su naznačena i područja sa različitim načinima primarnog očvršćavanja. Za razliku od dijagrama DeLonga primerljiv je i za procenu FN kod metala šava dupleks čelika. Upotrebljiv je za legure sa sadržajem Mn do 10%, Mo do 3%, N do 0,2% i Si do 1,0%.



Slika 30. Dijagram De Longa struktura austenitnog metala šava sa udelom  $\delta$  ferita

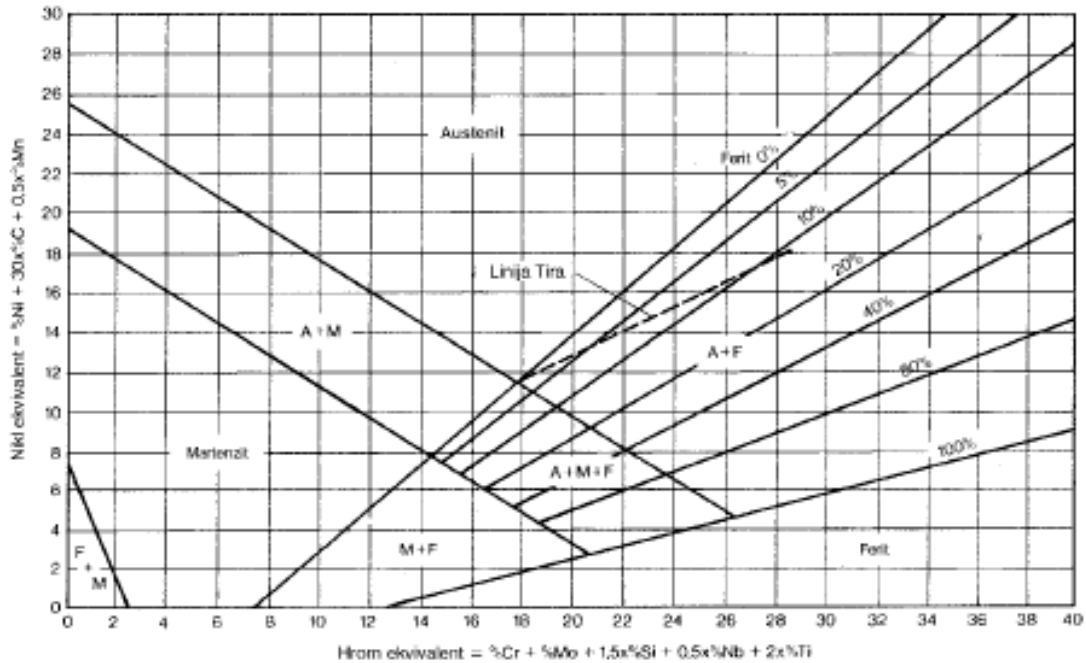


Slika 31. Dijagram WRC za feritni broj (FN) 0-100 sa područjima načina očvršćavanja

### DALJI RAZVOJ DIJAGRAMA PODRUČJA AUSTENITA I $\delta$ FERITA

Prema novijim saznanjima postoji neposredna uzajamna veza između načina očvršćavanja (primarni kristali) i sklonosti ka obrazovanju vrućih

prslina u visokolegiranom metalu šava, te daljim razvojem Šeflerovog dijagrama linijom Tira (Thier) postavljeno je razgraničenje područja austenitnog i feritnog primarnog očvršćavanja (sl.32.). Iznad granične linije može se očekivati nastanak vrućih prslina.

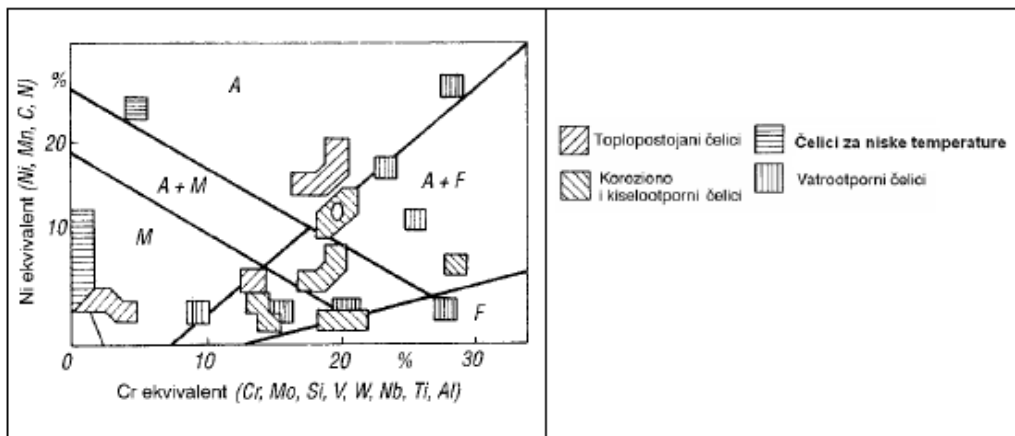


**Slika 32.** Šeflerov dijagram sa linijom razgraničenja (po Tiru) primarnog očvršćava  $\gamma/\delta$  kristala

Nadalje, u Šeflerov dijagram uneta su područja čelika za određenu primenu (Leinhos) (sl.33):

- visokolegiranih toplopostojanih čelika;
- visokolegiranih čelika žilavih na niskim temperaturama (kriogeni čelici);

- vatrootpornih i na termički oksid (kovarinu) otpornih čelika;
- koroziono otpornih čelika.

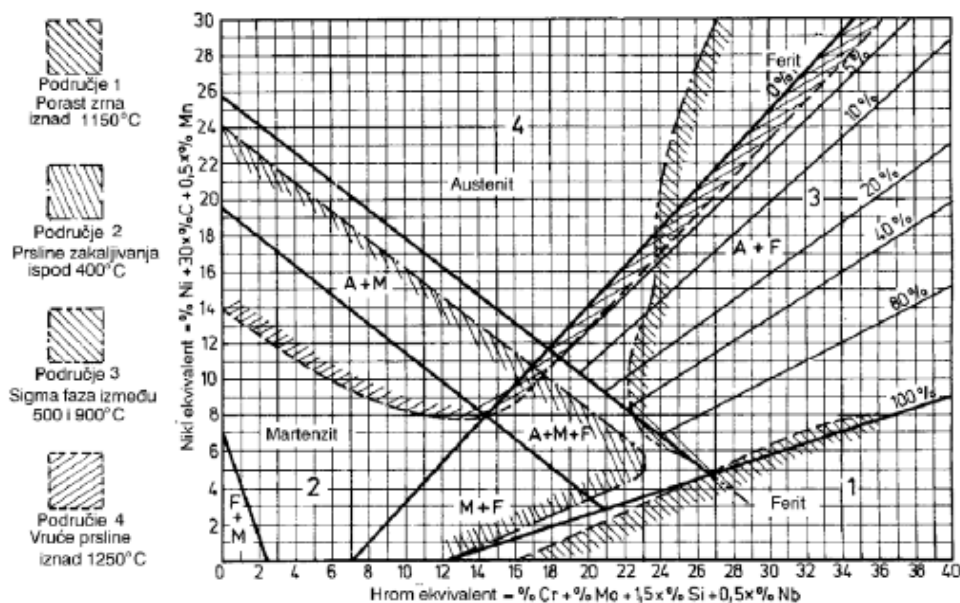


**Slika 33.** Strukturalni dijagram grupa čelika karakterističnih osobina za primenu

### SPOSOBNOST ZAVARIVANJA NERĐAJUĆIH ČELIKA

Razlika u ponašanju visokolegiranih i nelegiranih čelika pri zavarivanju proizilazi iz razlike između onih osobina koje su od velikog značaja za ponašanje pri zavarivanju i nastanak određenih grešaka. Visokolegirani čelici imaju znatno lošiju toplotnu provodljivost i znatno veće toplotno izduženje, zbog čega sledi odgovarajući nastanak napona i deformacija. Zbog toga većina ovih čelika

(osim austenitnih) zahteva predgrevanje. Sistemi legiranja čelika i dodatnih materijala za zavarivanje uslovljavaju nastanak određenih struktura, zbog čega je za opštu ocenu ponašanja pri zavarivanju pogodno razmatranje sposobnosti zavarivanja legura određenih područja u Šeflerovom dijagramu struktura. U predviđanju osetljivosti na pojavu karakterističnih grešaka pri zavarivanju ovih čelika Šeflerov dijagram je podeljen u četiri područja (sl. 34):



**Slika 34.** Šeflerov dijagram sa područjima povećane osetljivosti za nastanak nepovoljnih struktura i prslina u zavarenom spoju

1. Područje ogrubljenja zrna u ZUT, smanjenje žilavosti;
2. Područje nastanka hladnih prslina u metalu šava i ZUT usled zakaljivanja;
3. Područje nastanka krtosti i izlučivanja sigma faze, pojava interkristalne korozije u ZUT;
4. Područje nastanka vrućih prslina u metalu šava i ZUT.

Prema dijagramu, područje 1. u kojem pri zavarivanju može nastati porast zrna je feritna strukturalna oblast. Područje 2. sklonosti ka nastanku hladnih prslina je pre svega u martenzitnoj strukturalnoj oblasti. Područje 3. u kojem se prevashodno izlučuje sigma faza obuhvata austenitno-feritnu oblast, kao i feritno i austenitno granično područje. Područje 4. povećane sklonosti ka nastanku vrućih prslina je u potpuno austenitnoj oblasti.

Mere za povećanje zavarljivosti, otklanjanje, odnosno smanjenje osetljivosti za nastanak ovakvih grešaka i strukturalnih nepovoljnosti zavise od bliže određenosti sistema legiranja, odnosno strukture, a obuhvataju: izbor sistema legiranja dodatnog materijala, postupka i parametara zavarivanja,

temperature predgrevanja, termičke obrade posle zavarivanja.

### PODELA NERĐAJUĆIH ČELIKA PREMA STRUKTURI

Prema glavnom legirajućem elementu i strukturi nerđajućih čelika i sistemu grupisanja čelika za zavarivanje (CEN ISO/TR 15808) razlikuju se:

- Feritni Cr čelici, podgrupe 7.1
- Martenzitni i feritno martenzitni Cr čelici podgrupe 7.2 i taloženjem ojačani čelici podgrupe 7.3
- Austenitni CrNi (stabilizovani i nestabilizovani) čelici podgrupe 8.1 i 8.2.
- Austenitno-feritni CrNi (dupleks) čelici grupe 10, podgrupe 10.1 i 10.2.

Vrste zavarljivih visokolegiranih čelika svrstavaju se u grupe karakterističnih strukturalnih osobina (tab.5).

Vrsta	Grupa	Struktura	Primer
Feritni	Potpuno feritni čelici Poluferitni čelici	F F+M	X10CrAl24 X10Cr17; X6Cr17
Martenzitni	Meki martenzitni čelici	M+F M+A+F	X10Cr13; X6Cr13; X5CrNi13-4
Austenitno – feritni čelici	Duplex čelici	A+F F+A	C ≤ 0,1%, Cr=20-30%, Ni=4-10% X2CrNiMoN22- 5- 3
Austenitni	Austenitni sa učešćem ferita Potpuno austenitni (superaustenitni)	A+F A	X2CrNiMo17- 13- 2 X5CrNi 18- 10 X2CrNiMo 18- 16 –4 X2CrNi24-20

**Tabela 5.** Vrste zavarljivih visokolegiranih čelika

**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  |