



ZAVARIVANJE I ZAVARENE KONSTRUKCIJE

WELDING & WELDED STRUCTURES

God. 64 Vol. 64	Br. 1 No. 1	1-48 1-48	Beograd Belgrade	Srbija Serbia	2019. 2019.
--------------------	----------------	--------------	---------------------	------------------	----------------

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

duzs011@gmail.com, milicamantic@yahoo.com

Tehnički urednik / Technical Editor

Branislav Lukić, dipl.ing

Redakcijski odbor / Editorial Board

Dr Nenad Radović, dipl.ing.

Dr Radomir Jovičić, dipl.ing.

Dr Bore Jegdić, dipl.ing.

Miloš Pavlović, dipl.ing.

REDAKCIJA I MARKETING / EDITORIAL OFFICE AND MARKETING

Vesna Jović

Grčića Milenka 67, I sprat
11000 Beograd

Tel / Fax + 381 (11) 2420-652
(10-16h)

duzs@eunet.rs

www.duzs.org.rs



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)

Dr Horia Dascau, dipl.ing. (Rumunija)

CIP - Каталогизacija u publikaciji
Nародна 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 2019.

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.

1/2019

SADRŽAJ

CONTENTS



NAUKA•ISTRAŽIVANJE•RAZVOJ

SCIENCE•RESEARCH•DEVELOPMENT

05

**PROGRAM PRAĆENJA DEGRADACIJE MATERIJALA
U EKSPLOATACIJI I PROCJENA SIGURNOSTI
KONSTRUKCIJE ZA PRODUŽENJE ŽIVOTNOG
VIJEKA**

**MONITORING PROGRAM FOR MATERIAL'S
DEGRADATION DURING EXPLOATATION AND
ASSESSMENT OF STRUCTURE SAFETY FOR
LIFETIME EXTENSION**

Sead Avdić



NAUKA•ISTRAŽIVANJE•RAZVOJ

SCIENCE•RESEARCH•DEVELOPMENT

11

**HARDFACING MATERIAL SOLUTIONS FOR HIGH
PERFORMANCE COATINGS IN WEAR AND
CORROSION APPLICATIONS**

**REŠENJA ZA MATERIJALE ZA TVRDO NAVARIVANJE
ZA VISOKOKVALITETNE OBLOGE U APLIKACIJAMA
HABANJA I KOROZIJE**

F. Schreiber, B. Allebrodt, T. Erpel



NAUKA•ISTRAŽIVANJE•RAZVOJ

SCIENCE•RESEARCH•DEVELOPMENT

23

**PREVENT CRACKING IN DEPOSITION OF CARBON
STEEL ON INCONEL 625**

**SPREČAVANJE NASTANKA PRSLINA PRI
NANOŠENJU UGLJENIČNOG ČELIKA NA INCONEL
625**

M. M. Farag, M. A. Morsy, M. R. El Koussy



PRAKSA

PRACTICE

39

**OXY-FUEL CUTTING - AUTOMATION MAKES THE
DIFFERENCE**

GASNO REZANJE- AUTOMATIZACIJA ČINI RAZLIKU

Kurt Nachbargauer



VESTI

NEWS

4
22
36
46
47
48

IN MEMORIAM - MIROSLAV ĐURĐANOVIĆ
GODIŠNJI SASTANAK RADNIH GRUPA MEĐUNARODNOG INSTITUTA ZA ZAVARIVANJE (IIW)
10. MEĐUNARODNO ZNANSTVENO-STRUČNO SAVJETOVANJE SBZ 2019 – PRVI POZIV
KONFERENCIJA DEMI 2019 – PRVI POZIV
INŽENJERSKO RADIONIČKI PRIRUČNIK- PUBLIKACIJA
MARKETING

Poštovani čitaoci,

Uveliko smo u ovoj „novoj“ godini i aktivnosti se pojačavaju.

Napravili smo iskorak, t.j. probne intervju vezane za sertifikaciju koordinatora i inspektora zavarivanja.

Nastavljamo sa prezentovanjem radova sa 4. IIW kongresa zavarivanja Jugoistočne Evrope.

Pored ovih, imaćete priliku da nastavite i sa praćenjem radova izlaganih u okviru međunarodne konferencije sa temom “Advanced Welding and Smart Fabrication Technologies for Efficient Manufacturing Processes” u okviru „The 71 IIW Annual Assembly & International Conference“, July 2018 | Bali, Indonesia. To naravno nije sve, možete još čitati i ponešto iz drugih časopisa.

Nažalost, ostali smo bez člana našeg Izdavačkog saveta, prof.dr. Miroslava Đurđanovića.

Do narednog susreta

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

Podsećamo vas da je sada vreme da obnovite vaše članstvo u DUZS i pretplatu za naš časopis.





IN MEMORIAM

MIROSLAV ĐURĐANOVIĆ

1940 – 2019.

Prof. dr Miroslav Đurđanović rođen je 28.04.1940.g. u Grejaču, opština Aleksinac. Na Mašinskom odseku Tehničkog faulteta u Nišu diplomirao je 1970. godine.

Prof. dr Miroslav Đurđanović magistrirao je na Strojničkom fakultetu u Ljubljani 1982. („Zavarivanje trenjem pri dejstvu struje visoke frekvencije“) a doktorirao je na Mašinskom fakultetu u Nišu 1990. godine („Istraživanje procesa oblikovanja krajeva cevnih profila trenjem“).

Godine 2003. izabran je za redovnog profesora na Mašinskom fakultetu u Nišu na predmetu Zavarivanje.

Prof. dr Miroslav Đurđanović je autor dve monografije:

- *Zavarivanje i oblikovanje metala trenjem,*
- *Tribologija presovanih spojeva.*

Učestvovao je u realizaciji 7 naučno-istraživačkih i razvojnih projekata.

Otišao je u zasluženu penziju oktobra 2005. godine.

Ali ga to nije zaustavilo. Pod njegovim rukovodstvom je prvi put u Srbiji uspešno obavljeno eksperimentalno zavarivanje postupkom trenjem sa mešanjem, legure aluminijuma.

Pored rada u struci, privlačile su ga i druge aktivnosti.

Bio je član Saveta Univerziteta, potpredsednik Udruženja nastavnika i saradnika Univerziteta u Nišu, ali i član Predsedništva opštinskog streljačkog saveza Niš, Predsednik AKUD Veljko Vlahović, član Upravnog odora Studentskog kulturnog centra u Nišu.

Njegova nenametljivost, višestranost, erudizam tek su deo antičke ličnosti profesora Đurđanovića. Dubokih korena u zemlji Srbiji, duhom je doprinio da vrati skoro zaboravljeni patriotizam u naše podneblje.

Na tome i svemu ostalom, hvala našem Miki.



¹Sead Avdić

PROGRAM PRAĆENJA DEGRADACIJE MATERIJALA U EKSPLOATACIJI I PROCJENA SIGURNOSTI KONSTRUKCIJE ZA PRODUŽENJE ŽIVOTNOG VIJEKA

MONITORING PROGRAM FOR MATERIAL'S DEGRADATION DURING EXPLOATATION AND ASSESSMENT OF STRUCTURE SAFETY FOR LIFETIME EXTENSION

Originalni naučni rad / Original scientific paper

Rad je u izvornom obliku objavljen u Zborniku sa 4. IIW Kongresa zavarivanja Jugoistočne Evrope „Safe Welded Construction by High Quality Welding“ održanog u Beogradu 10-13. Oktobra 2018

Rad primljen / Paper received:

Januar 2019.

Ključne reči: parni kotao, cijevni sistem, stanje materijala, ispitivanje, proračun, nivo degradacije, puzanje, visoka temperatura

Adresa autora / Author's address:

¹Institut za zavarivanje d.o.o. Tuzla, Bosne Srebrene br. 6, Bosna and Hercegovina
avdic.inz@gmail.com

Key words: steam boiler, pipe system, material condition, examination, calculation, level of degradation, crawl, high temperature

Sažetak

Praćenje i procjena stanja materijala cijevnih sistema koji rade na povišenim temperaturama, vršeno je na osnovu proračuna teoretskog radnog vijeka elemenata parovaoda koji se zasniva na proračunu degradacije materijala usljed puzanja i malocikličnog zamora. Ovaj rad prikazuje program koji se posebno koristi za praćenje ponašanja materijala u cijevnom sistemu u eksploataciji. Program se temelji na proračunu maksimalnog naprezanja u stijenci pojedinog elementa parovoda, a zavisi od izmjerenih temperature i pritisaka, kao i izmjerenih najmanjih debljina stijenke tog elementa. Na taj način moguće je izračunati ukupan nivo degradacije materijala. Ispitivanja su rađena na kotlovskom postrojenju u TE Tuzla, Bosna i Hercegovina. Ovakvim načinom praćenja i ispitivanja materijala stvara se osnova za pravovremeno donošenje odluke o popravkama, sanaciji, zamjeni ili revitalizaciji postrojenja ili kritičnih komponenata, što može rezultirati produženjem vijeka trajanja.

1. Uvod

Tehnički propisi za parne kotlove utvrđuju određena mjerenja i ispitivanja za vrlo opterećene konstrukcijske elemente tokom proizvodnje i eksploatacije:

- mjerenje radi utvrđivanja geometrije,
- ispitivanja bez razaranja u proizvodnji i pogonu,
- ispitivanja bez razaranja strukture materijala,
- mjerenja radi utvrđivanja zaostalog naprezanja,
- računsko praćenje iscrpljenosti materijala.

Vrlo opterećeni konstrukcijski dijelovi definisani su kao dijelovi od kojih se uz uticaj temperature,

Abstract

Details of evaluation and tracking the material condition of steam boiler's pipe system, which work on high temperature was made on the basis calculations of theretically working age of the steam line's element. This calculation presents calculation of material degradation caused by crawling and small periodic fatigue.

This work show a program, especially used for tracking the material's behavior of pipe system in exploitation. This program was based on the calculation of maximal effort in the wall of each steam line's part. This calculation dependens from the measure of temperature, preasure and the smollest tickness of wall this elements. In that way is possible to make the total level of material degradation. It can be concluded that this way of tracking and calculation presents the basis for a timely decision about repair, sanation, exchange or plant revitalisation or critical components, which can make it's longer lived extension.

1. Introduction

Technical regulations for steam boilers establish the determined measurement and testing of very burdened constructional elements during the production and exploitation:

- measurement because of the establishing of geometry,
- testing without the destruction in the production and plant,
- testing without the destruction of structure of material,
- measurements because of the establishing of rest of tensions,
- the computer tracking of material weariness.



unutrašnjeg pritiska, vanjskih sila i momenata, vibracija, ugrađenih osobina materijala očekuje i najmanji vijek trajanja.

Pod uticajem visoke temperature i napreznja toplinski otporni materijali reaguju puzanjem koje se očituje u trajnoj deformaciji metalnog dijela. Na kraju osim trajne deformacije ovaj proces se očituje i pojavom pukotina na vanjskoj površini konstrukcijskog dijela. Lukovi, T i Y komadi, kao i zavareni spojevi predstavljaju kritične tačke parovoda.

Procjena stanja materijala usljed trajnog napreznja kod povišenih temperatura (puzanje) kod kotlova u eksploataciji može se pratiti uz pomoć odgovarajućeg računarskog programa. Redovnom konstatacijom promjena na materijalima moguća je ocjena stanja materijala i prirast degradacije (kompjuterizacija informacija).

2. Program praćenja stanja materijala cijevnog sistema kotla u eksploataciji

Praćenje i ocjena stanja materijala parovoda koji radi pri povišenim temperaturama, vršena je na osnovu proračuna teoretskog radnog vijeka elemenata parovoda koji se zasniva na proračunu degradacije materijala usljed puzanja i malocikličnog zamora. Kod elemenata gdje je materijal izložen stalnom opterećenju usljed pritiska vrši se proračun na puzanje, a kod elemenata izloženih raznim cikličnim napreznjima (hladni i topli startovi, nagle promjene temperature, promjene opterećenja, pritiska i td.) i proračun od malocikličnog zamora materijala. Ukupna degradacija materijala se dobiva sabiranjem pojedinačnih stepeni degradacije:

$$e_u = e_z + e_c \dots(1)$$

pri čemu je :

e_z – degradacija materijala usljed trajnog napreznja pri povišenim temperaturama,

e_c – degradacija materijala usljed izmjeničnog napreznja.

Very burdened constructional parts defined as parts from which beside the influence temperatures, the internal pressure, outer force and moments, vibration, built-in characteristic of materials expects and smallest life cycle. Heat resistant materials under the influence of high temperature and tensions make reactions by crawling which manifests itself in the permanent deformation of metal part. In the end besides the permanent deformation this process manifests itself and appearance crack on the outer surface of constructional part. Bows, T and Y pieces, as well as are welded connections present critical points of steam pipe lines. Evaluation of state of material caused of permanent tensions by raised temperatures (the crawling) at boilers in the exploitation were able accompany with the aid the suitable computer program. The regular statement change on materials is possible to evaluate of state of material and degradations will grow (computerizations of information).

2. Materials states of boiler pipe system tracking program (in the exploitation)

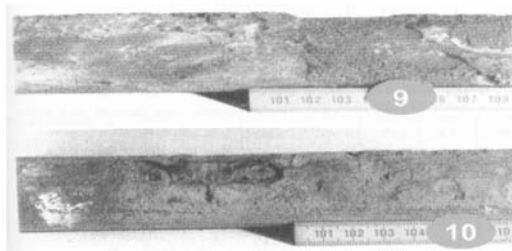
Tracking and evaluations of state of material of steam line which works by raised temperatures, has been performed on the basis of calculates the theoretical working life of elements of steam lines which bases on the budget of degradation of material because the crawling and low-cycle fatigue. By elements where the material has been displayed continuous load because of the presses is performed the budget on the crawling, and by elements displayed different cyclic tension (turns cold and warm starts, rash changes of temperature, load variations, presses and td.) and budget from the low-cycle fatigue of material. Total degradations of materials get collection of the single degradations:

$$e_u = e_z + e_c \dots(1)$$

by what is:

e_u - degradations of materials because the permanent tension on raised temperatures,

e_c - degradations of materials because of alternate tensions.



Slika 1. Vizuelni pregled cijevi (10CrMo 9-10)
Figure 1. Visual inspection of pipes (10CrMo 9-10)



2.1 Stepen degradacije usljed trajnog naprezanja pri povišenim temperaturama (puzanje)

Određivanje stepena degradacije teorijskog životnog vijeka temelji se na proračunu maksimalnog naprezanja u stijenci pojedinog elementa parovoda, koje proizlazi od izmjerenih temperatura i pritiska, kao i izmjerenih najmanjih debljina stijenke tog elementa. Na ovaj način se u razmatranje uzimaju najslabija mjesta pojedinih elemenata parovoda.

Na osnovu izračunate vrijednosti pogonskog naprezanja iz dijagrama vremenske čvrstoće za odgovarajući materijal i radnu temperaturu na donjoj graničnoj krivulji pojasa vremenske čvrstoće ($0,8 \cdot$ srednja vrijednost, što znači da se radi s minimalnim radnim vijekom) očitava se teorijski radni vijek $Z_{B/9/p}$. Vremenski ovisna čvrstoća je ona čvrstoća materijala koja na početnom presjeku epruvete, podvrgnute mirnom naprezanju na istezanje σ kod temperature q , nakon vremena opterećenja t rezultira lomom epruvete. Degradacija e_z se tvori pomoću pojedinih pogonskih vremena $Z_{9/p}$ i teorijskog životnog vijeka elemenata $Z_{B/9/p}$. Prirast degradacije iznosi Δe_z .

Degradacija zbog dugotrajnog rada na visokim temperaturama za vrijeme pripadajućeg vremenskog perioda dobiva se na osnovu linearnog pravila udjela vijeka trajanja zbrajanjem određenih vrijednosti Δe_z za sve nivoe temperatura (i ako je potrebno pritiska).

$$e_z = \sum \Delta e_z \dots (2)$$

Ako stepen degradacije dostigne vrijednost 100%, to znači da je teorijski radni vijek promatranog elementa iscrpljen, to se mora računati s lomom stijenke. To još ne znači da će lom stvarno i nastupiti, što ovisi o tome gdje se u području vremenski ovisne čvrstoće nalazi vrijednost koja odgovara materijalu posmatranog elementa.

Kritično vrijeme opterećenja tj. vrijeme nakon kojeg se očekuje da će teorijski radni vijek materijala parovoda koji radi pri povišenim temperaturama (iznad $450 \text{ }^\circ\text{C}$) biti iscrpljen, može se produžiti ili skratiti promjenama temperature i pritiska. Pri tome treba napomenuti da temperatura ima znatno veći uticaj.

2.2. Stepen degradacije usljed izmjeničnog naprezanja (malociklički zamor)

Proračun degradacije izmjenično napregnutih dijelova je postupak koji uzima u obzir izmjenično pogonsko naprezanje, posebno kod pokretanja i zaustavljanja. Prilikom određivanja degradacije materijala koristi se niskociklički zamor materijala kod promjenljivog naprezanja, a pri kojem dolazi do

2.1 Degradations level because the permanent tensions on raised temperatures (creep)

Determining of the degradation level of theoretical lifespan bases on the budget of maximal tensions in the wall of single element of steam line, which follows from measured temperatures and pressures, as well as the measured smallest thickness of wall of this element. In this way in the deliberation takes weakest places of single elements of steam lines.

On the basis of computed values of operating tensions from the diagram of time firmness for the suitable material and working temperature on the lower border curve of time firmness ($0,8 \cdot$ the average, what mean that works with the minimal working life) manifests the theoretical working life $Z_{B/9/p}$. Temporally the dependent firmness is that firmness of material which on the start cut test tubes, are submitted to still tensions on the stretching out with the code temperatures q , after load times t result the breakdown test tubes. Degradation e_z creates using single operating times $Z_{B/p}$ and theoretical lifespan of elements $Z_{B/9/p}$. Will grow together degradations bring out Δe_z .

Degradation because of the long-lasting work on fevers during the belonging half-life gets on the basis of the linear rule thread the life cycle addition of determined values Δe_z for all levels temperature (and if is necessary pressures).

$$e_z = \sum \Delta e_z \dots (2)$$

If degradations level reach the value 100 %, this means that the theoretical working life of observed element has been exhausted, this must will count with the breakdown walls. This not as yet means that the breakdown really and will appear, what depends on this where in the area temporally the dependent firmness finds value which answers the material of mentioned element.

Emergency loads i.e. the time after which expect that the theoretical working life of material of steam line which works by raised temperatures (above $450 \text{ }^\circ\text{C}$) has been exhausted, was able will extend or will shorten changes temperatures and presses. By this needs mention that the temperature has considerably the larger influence.

2.2 Degradations level because of the alternate tension (the low-cycle fatigue)

Degradations calculation of alternate tensed parts is procedure, which takes into consideration, alternate operating tensions, especially by the starting and stopping. On the occasion of the determining degradations of material uses the low-cycle fatigue of material by changeable efforts, and



pojave pukotina nakon n_k ciklusa i kod zadane temperature.

Za svaku klasu proračunava se širina izmjeničnog naprezanja $\Delta\sigma_i$ s gornjim graničnim vrijednostima širine promjene temperature i pritiska.

Na osnovu veličina $\Delta\sigma_i$ izračunava se širina naprezanja ($2 * \sigma_a$) posebno za elastično i plastično područje. Iz dijagrama za veličinu $2 * \sigma_a$ i temperaturu očitava se broj promjena opterećenja n_k koji dovodi do loma. Za svaki slučaj promjenljivog opterećenja (hladni start, topli start i sl.) računa se prirast degradacije Δe_c . Ukupna degradacija zbog promjenljivog opterećenja e_c dobiva se prema linearnoj hipotezi akumulacije oštećenja iz pojedinih degradacija.

$$e_c = \sum \Delta e_c \dots(3)$$

Budući da su elementi parovoda relativno tankih stijenki, maksimalne temperaturne razlike po debljini stijenke koje određuju iznos toplinskih naprezanja male, pa su i naprezanja mala, iznosi degradacije životnog vijeka materijala malocikličkog zamora su zanemarivo mali.

3. Računarski model

Naprezanje se računa na osnovu radnog pritiska i izmjerenih debljina stijenki (prema izvještajima o obavljenim ispitivanjima). Propis TRD-508 propisuje da se dosadašnji period pogona podijeli u nivoe pritiska i temperatura kojima se onda pridružuju odgovarajuća naprezanja i degradacije te se sumiranjem pojedinačnih degradacija dolazi do ukupne degradacije. Radi efikasnijeg praćenja i ocjene stanja materijala u eksploataciji urađen je računarski model (RunLu, RunYk, RunTk), a odnosi se na procjenu stanja materijala za lukove, Y i T komade.

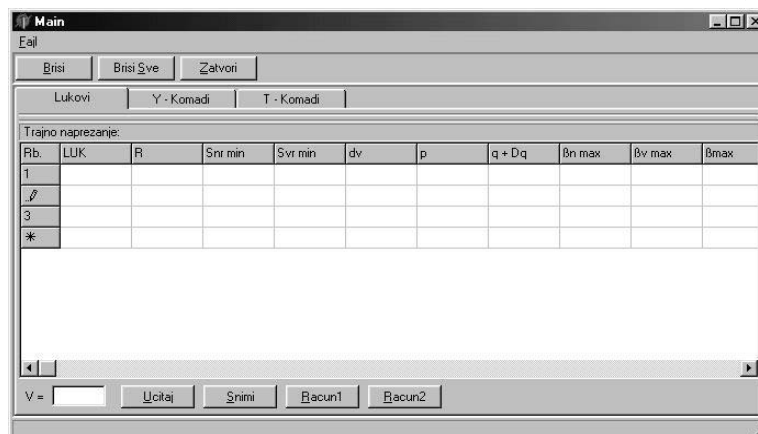
by which comes to the appearance crack after the n_k of cycle and by the given temperature. For the every class estimates the width of alternate tension $\Delta\sigma_i$ with upper boundary values of width changes of temperature and presses. On the basis of the size $\Delta\sigma_i$ calculates widths of tension ($2 * \sigma_a$) especially for elastically and plastic area. From the diagram for the size $2 * \sigma_a$ and temperature manifests the number of load variations n_k which adds up to the breakdown. For the every case of changeable load (the cold start, warm start similarly.) counts will grow together degradations Δe_c . The total degradation because of the changeable load e_c gets towards the linear hypothesis of accumulation of damage from single degradations.

$$e_c = \sum \Delta e_c \dots(3)$$

Since are elements of steam line relatively thin walls, the maximal temperature difference along the thickness walls which determines the amount of heat tension small, so are and efforts small, brings out the degradation of lifespan of material of low-cycle fatigue are neglectfully small.

3. The computer model

Strives reckons upon the base of working pressure and measured thickness of walls (towards reports about the done testing). Regulation TRD-508 prescribes that the past time of plant divided in levels of pressures and temperatures, which then join suitable efforts and degradation, this sum up single degradations comes to the total degradation. Because of the more efficient tracking and evaluations of state of material in the exploitation has been done the computer model (RunLu, RunYk, RunTk), and carries off on the evaluation of state of material for bows, Y and T piece.



Slika 2. Interpretacija programa za izračunavanje stepena degradacije materijala LUKOVA, Y i T komada(%)
Figure 2. Interpretations of programs for the calculation of the degradation level of material of L, Y and T carves to pieces (%)

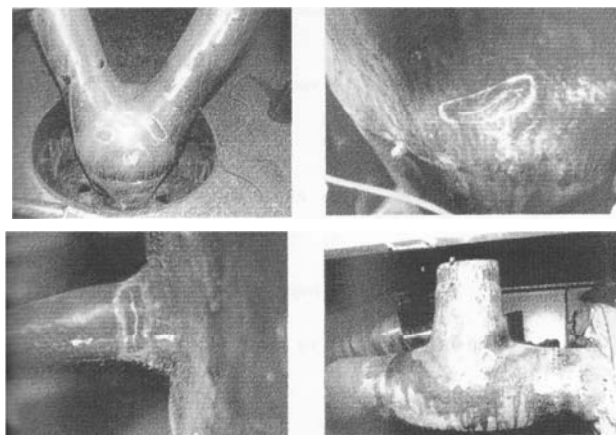


Legenda :

R – radijus simetrale luka,
 snr min - min izmjerena debljina stijenke na unutrašnjoj izvodnici luka,
 svr min - min izmjerena debljina stijenke na vanjskoj izvodnici luka,
 dv - vanjski promjer cijevi,
 p – radni pritisak,
 q + D – radna temperatura uvećana za dodatak zbog netačnosti mjerenja,
 βn max – naprezanje na unutarnjoj izvodnici luka,
 βv max – naprezanje na vanjskoj izvodnici luka,
 β max – max (βn max, βv max),
 ZB/q/p – teoretski životni vijek,
 Zq/p – stvarni radni vijek,
 Dez-stepen degradacije za određene pogonske parametra (%),
 ez - ukupni stepen degradacije usljed trajnog naprezanja na lukovima (%).

Legend:

R radius of center line of bow,
 Snr min min of the measured thickness of wall on the internal generatrix port,
 svr min min of the measured thickness of wall on the outer generatrix port,
 dv external diameter to the pipes,
 p the working pressure,
 q + D the working temperature is enlarged for the supplement because of measurements error
 βn max efforts on the inner generatrix port,
 βv max efforts on the outer generatrix port,
 β max max (βn max, βv max),
 ZB/q/p the theoretical lifespan,
 Zq/p the real working life,
 Dez-degradations level for the determined operating parameter (%),
 ez - total are shaken degradations because permanent efforts on L (%).



Slika 3. Pukotine otkrivene magnetnom metodom (Y i T komadi)
Figure 3. Cracks detected by the magnetic method (Y ant T pieces)

Rb,	LUK	R	Snr min	Svr min	dv	p	q + Dq	βn max	βv max	β max	ZB/q/p	Zq/p	Dez	ez %
1	L.11	1600,0	17,6	15,1	426,0	2,39	545	28,271	33,157	33,157	1897	120	6,326	6,326
2	L.12	1600,0	17,5	16,0	426,0	2,39	545	28,44	31,222	31,222	2030	120	5,911	5,911
3	L.13	1600,0	18,3	14,4	426,0	2,39	545	27,142	34,83	34,83	1534	120	7,823	7,823
4	L.15	1600,0	18,5	16,2	426,0	2,39	545	26,835	30,822	30,822	2633	120	4,558	4,558
5	L.16	1600,0	16,6	14,7	426,0	2,39	545	30,049	34,094	34,094	1564	120	7,673	7,673
6	L.17	1600,0	16,9	14,5	426,0	2,39	545	29,493	34,581	34,581	1560	120	7,692	7,692
7	L.19	1600,0	17,4	15,0	426,0	2,39	545	28,61	33,387	33,387	1835	120	6,54	6,54
8	L.20	1600,0	17,7	15,0	426,0	2,39	545	28,104	33,387	33,387	1841	120	6,518	6,518
9	L.21	1600,0	16,8	14,4	426,0	2,39	545	29,676	34,83	34,83	1509	120	7,952	7,952
10	L.23	1600,0	17,4	16,2	426,0	2,39	545	28,61	30,822	30,822	1981	120	6,058	6,058
11	L.24	1600,0	16,1	14,7	426,0	2,39	545	31,021	34,094	34,094	1357	120	8,843	8,843
12	L.25	1600,0	16,4	14,6	426,0	2,39	545	30,431	34,336	34,336	1477	120	8,125	8,125
13	L.17	2100,0	20,1	16,3	508,0	2,39	545	29,575	36,759	36,759	1159	120	10,354	10,354
14	L.18	2100,0	21,1	17,2	508,0	2,39	545	28,114	34,771	34,771	1501	120	7,995	7,995
15	L.15	1100,0	26,9	25,0	219,0	13,53	545	49,159	53,43	53,43	468	120	25,641	25,641
16	L.26	1100,0	26,8	24,6	219,0	13,53	545	49,368	54,413	54,413	458	120	26,201	26,201
17	L.17	1100,0	30,6	26,2	219,0	13,53	545	42,363	50,66	50,66	661	120	18,154	18,154
18	L.19	1100,0	29,9	26,4	219,0	13,53	545	43,32	50,223	50,223	672	120	17,857	17,857
19	L.3	1250,0	34,8	31,8	273,0	13,53	545	47,112	52,221	52,221	537	120	22,346	22,346
20	L.6	1250,0	33,8	31,4	273,0	13,53	545	48,714	52,976	52,976	476	120	25,21	25,21
21	L.36	1600,0	40,4	37,1	324,0	13,53	545	48,32	53,244	53,244	496	120	24,194	24,194
22	L.38	1600,0	39,6	35,8	324,0	13,53	545	49,438	55,434	55,434	450	120	26,667	26,667

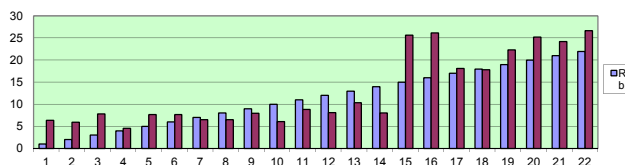
LUKOVI

Tabela 1. Izračunavanje stepena degradacije usljed trajnog naprezanja (puzanje) pri radu na povišenoj temperaturi materijala cijevnih LUKOVA cjevovoda vruće međupregrijane i svježe pare

Table 1. Calculation of the degradations level because of the permanent tension (the crawling) by the work on the raised temperature of material pipe ARC pipelines of hot middle-hot and fresh steam

U tabeli 1. su prikazane vrijednosti izračunatog stepena degradacije materijala na cijevnim lukovima. Iz prikazanih rezultata se vidi da najveći stepen degradacije ima luk sa oznakom "38" i to 26,6 % a najmanji stepen degradacije ima luk sa oznakom L15 i to 4,55 %. Na lukovima sa većim stepenom degradacije potrebno je uvesti češća ispitivanja.

In the table 1. present values of the calculated are the degradation level of material on pipe bows. From shown results is seen that biggest are shaken degradations have the bow with the mark "38" and this 26,6 % and smallest is shaken degradations have the bow with the mark L15 and this 4,55 %. On bows with larger degradations level is necessary brings in the more frequent testing.



Slika 4. Dijagram degradacije materijala pojedinih cijevnih LUKOVA (%)

Figure 4. Diagram of degradation of material single pipe L (%)

Na dijagramu (slika 4) su grafički prikazane ukupne vrijednosti degradacije materijala posmatranih cijevnih lukova. Lukovi cjevovoda vruće međupregrijane pare (1-14), imaju maksimalne vrijednosti do 10%, dok kod lukova na cjevovodima svježije pare (15-22), stepen degradacije se kreće i do 27%.

4. Zaključak

Uspješnost produženja vijeka korištenja energetskih postrojenja u osnovi se svodi na problem pravovremenog uočavanja oštećenja i utvrđivanja dinamike njihova rasta. Dinamika rasta oštećenja se može uspješno pratiti samo uz pomoć organizovanog i dosljedno provođenog sistema praćenja ponašanja materijala sistema u eksploataciji. Na osnovu takvog sistema na konkretnom kotlovskom postrojenju mogu se istražiti i utvrditi zakonitosti rasta vrlo upečatljivih i jasnih oštećenja i ocijeniti vrijeme postizanja dopuštenih i kritičnih veličina. Ispitivanja koja su vršena na uzorcima cijevnih sistema su ukazala na mogućnost dalje primjene materijala cijevnih lukova, Y i T komkada u eksploataciji i stepen degradacije materijala, a uvođenjem baze podataka kroz praćenje promjena na materijalima stvorila bi se mogućnost za ocjenu stanja materijala i prirast degradacije. Ovakvim načinom praćenja i ispitivanja materijala, stvara se osnova za pravovremeno donošenje odluke o popravkama, sanacijama, zamjeni ili revitalizaciji postrojenja ili kritičnih komponenti, a to znači produženje vijeka korištenja.

References

- [1] Malčević S.: Ocjena stanja materijala energetskih postrojenja, EGE, Zagreb, 1993.
- [2] Jakšić S.: Kritična točka energetske i procesne opreme u eksploataciji, EGE, Zagreb, 1994.
- [3] Juraga I., Ljubić K., Živčić M.: Pogreške u zavarenim spojevima, HDTZ, Zagreb, 1998.
- [4] Jakšić S.: Utvrđivanje i praćenje stanja materijala i zavarenih spojeva energetske i procesne opreme u eksploataciji, Zavarivanje 24, Zagreb, 1981.
- [5] Jakšić S.: Praćenje stanja materijala energetske, procesne i naftne opreme u eksploataciji, EGE, Zagreb, 1993.

On the diagram (figure 4) represent graphically total values of degradation of material of mentioned pipe bows. Arc pipelines of middle-hot steam (1-14), have maximal values to 10 %, while by bows on pipelines fresh steam (15-22), degradations level are up to 27 %.

4. Conclusion

Successfulness of lengthening of service life of power facilities basically boil down to the problem of the timely noticing of damage and establishing of dynamics did their not separate. Dynamics did not separate damages can successfully to accompany only with the aid of the organise and consistently the guided system of tracking material behaviours of system in the exploitation. On the basis of the system on the boiler plant can investigate and establish legalities did not separate very impressive and clear damages and evaluate the time of achieving allowed and critical sizes. Testing which has been performed on samples of pipe systems have pointed on the possibility of farther use material of pipe bows, Y and T pcs in the exploitation and are degradation level of material, and the introduction databases through the tracking change on materials would create the possibility for the evaluation of state of material and will grow together degradations. The such way of tracking and material testing, comes into being established for the timely taking a decision about corrections, improvements, replacement or revitalizations of facilities or critical components, and this means the lengthening of service life.

- [6] Lypolt A.: Važnost pouzdane procjene rezultata ispitivanja u produljenju vijeka trajanja postrojenja, Zbornik radova MATEST 98, Brijuni, 1998.
- [7] Lypolt A.: Istraživanje i praćenje stanja materijala u naftnoj i petrokemijskoj industriji, EGE, Zagreb, 1993.
- [8] Bradley E. F., Ed.: Source Book on Materials for Elevated Temperature Applications, American Society for Metals, 1979.
- [9] Rothman M. F., Ed.: High Temperature Corrosion in Energy Systems, The Metallurgical Society, 1985.



F. Schreiber^{1,a}, B. Allebrodt^{1,b}, T. Erpel^{1,c}

HARDFACING MATERIAL SOLUTIONS FOR HIGH PERFORMANCE COATINGS IN WEAR AND CORROSION APPLICATIONS

REŠENJA ZA MATERIJALE ZA TVRDO NAVARIVANJE ZA VISOKOKVALITETNE OBLOGE U APLIKACIJAMA HABANJA I KOROZIJE

Originalni naučni rad / Original scientific paper

Rad je u izvornom obliku objavljen u Zborniku sa 4. IIW Kongresa zavarivanja Jugoistočne Evrope „Safe Welded Construction by High Quality Welding“ održanog u Beogradu 10-13. Oktobra 2018

Rad primljen / Paper received:

Januar 2019.

Ključne reči: Termički nabrizgani slojevi, Punjena žica, MAG-vruća žica, Habanje, Korozija, Kompleksi karbidi

Abstract

The protection of machinery and structural components by thermal coatings is of huge economic importance. Each hour of downtime, caused by deficient coatings as a result of wear and corrosion, costs a fortune. Savings by reducing these downtime hours can be achieved by applying optimized functional coatings which show enhanced properties. The main welding processes for applying coatings are GMAW or OA, PTA or Laser, each with their pros and cons. The PTA process can be seen as the intermediate process bridging the low cost, high deposition rate and the expensive but high end Laser. Recently, the PTA and especially the laser process are gaining more attention and market shares.

Nowadays the flux-cored wires can be upgraded more and more with for instance complex carbides and achieve coatings similar to the high performance coatings obtained by PTA and Laser welding but at much lower costs.

The common problems accompanying the GMAW process: a large heat affected zone and dilution, can be circumvented by using the cold metal transfer (CMT), the AC-GMAW- and the GMAW hot wire process, allowing the flux-cored wires to fully deploy their large potential and compete with the welding techniques. The current paper will describe the modern GMAW hot wire process and then deal with innovative materials and process concepts for the high performance flux-cored wire to give a competitive alternative for the PTA process and expensive laser.

Adresa autora / Author's address:

¹ DURUM VERSCHLEISS-SCHUTZ GMBH, Willich, Carl-Friedrich Benz Str. 7, Willich, Germany

^aschreiber@durum.de, ^ballebrodt@durum.de, ^cerpel@durum.de

Key words: Thermal coatings, Flux-cored wire, GMAW-hot wire, Wear, Corrosion, Complex carbides

Rezime

Zaštita mašina i strukturnih komponenti termičkim nabrizgavanjem je od ogromnog ekonomskog značaja. Svaki sat zastoja, uzrokovan nedostajućom prevlakom kao rezultat habanja i korozije, košta bogatstvo. Ušteda smanjenjem vremena zastoja može se postići primenom optimizovanih funkcionalnih nanosa koji pokazuju poboljšana svojstva. Glavni postupci zavarivanja za nanošenje su MIG/MAG ili otvorenim lukom OA, plazma PTA ili Laser, svaki sa svojim za i protiv. Proces PTA se može posmatrati kao srednji proces koji premošćuje niske troškove, veliku brzinu nanošenja između skupog ali visokoučinskog lasera. Nedavno, PTA i posebno laserski proces dobijaju više pažnje i tržišnih udela.

Danas se punjene žice mogu sve više nadograditi sa, na primer, složenim karbidima i postižu se nanosi slični visokokvalitetnim nanosima dobijenim PTA i Laserskim zavarivanjem, ali uz znatno niže troškove.

Uobičajeni problemi koji prate proces MAG: velika zona uticaja toplote i mešanje, mogu se zaobići korišćenjem hladnog prenosa metala (CMT), AC-MAG i MAG sa vrućom žicom, čime se punjenim žicama omogućuje da se potpuno razvije njihov veliki potencijal i konkurišu tehnikama zavarivanja. Sadašnji rad će opisati savremeni MAG proces sa vrućom žicom, a zatim se baviti inovativnim materijalima i procesnim konceptima za punjene žice visokog učinka kako bi se dobila konkurentna alternativa za PTA proces i skupi laser.



1. Introduction

The application welding method examined in the scope of this paper is a combination of the classical GMAW welding plus additional infeed of a second flux-cored wire that is supplied as a hot wire with another current source. Only the infeed GMAW wire ignites a transferring electric arc in this, and the hot wire is subsequently guided hot into the still-liquid melt by resistance heating. Basic advantages are provided by a very low thermal stress on the material supplied by hot wire in the range of the nickel-based alloys reinforced with tungsten carbide. Too-high thermal stress, e.g. by a transferred electric arc when welding, leads to disintegration of fused tungsten carbide FTC (W_2C/WC) to tungsten monocarbide (WC) while emitting tungsten. The high hardness and high wear resistance of the FTC is reduced by this process [1]. At the same time, the dissolution of the carbides reduces the carbide size, which reduces the wear resistance of the coating [2].

1. Uvod

Primenjeni metod zavarivanja koji je ispitan u okviru ovog rada je kombinacija klasičnog MAG zavarivanja i dodatnog napajanja druge punjene žice koja se isporučuje kao vruća žica sa drugim izvorom struje. Samo u dovodnoj MAG žici se u tom stanju pali električni luk koji se prenosi, a vruća žica se zatim vruće uvodi u rastop koji je još u tečnom stanju pomoću elektrootpornog grejanja. Osnovne prednosti obezbeđuje veoma nizak termički napon na materijal koji se dobija vrućom žicom u rasponu od legura na bazi nikla ojačanog volframovim karbidom. Previše visoki termički napon, npr. prenošenim električnim lukom pri zavarivanju, dovodi do raspadanja rastopljenog volfram-karbida FTC (W_2C / VC) do volfram monocarbida (VC) sa emitovanjem volframa. Visoka tvrdoća i visoka otpornost na habanje FTC se smanjuje ovim procesom [1]. Istovremeno, rastvaranje karbida smanjuje veličinu karbida, što smanjuje otpornost na habanje nanosa [2].

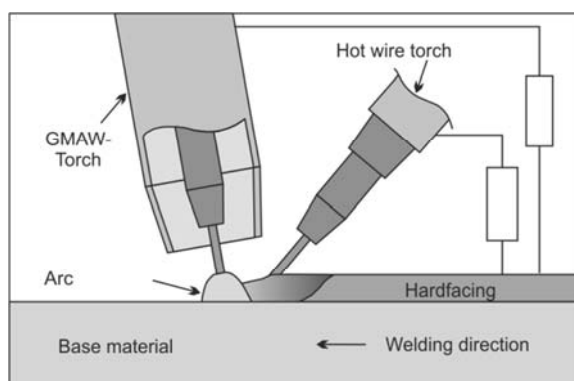


Figure 1. Schematic GMAW hot wire procedure

Slika 1. Šema procesa MAG sa vrućom žicom

The GMAW hot wire process was examined in terms of process characteristics and use of flux-cored wire diameters up to 2.4 mm. Here, larger particles can be used in the FTC-reinforced nickel-base alloys in addition to increase the content of FTC filler as well. For validation of these effects, also three other typical hardfacing alloys were examined. Here, the respective economical most relevant flux-cored wire alloys were chosen based on iron, nickel and cobalt [3]-[4].

2. Materials, machines and examination methods used

The welding tests were conducted with the welding system DURWELD Alpha made by DURUM VERSCHLEISS-SCHUTZ GmbH, equipped with two power sources from EWM AG. An EWM Alpha Q552 pulse was used as GMAW power source and an EWM TETRIX 552 as hot wire power source. The principle and setup of welding technology is shown in figure 1. S235 JR was used as base

Proces MAG sa vrućom žicom ispitan je u pogledu karakteristika procesa korišćenjem punjene žice prečnika do 2,4 mm. U ovom slučaju, veće čestice se mogu koristiti na FTC legurama na bazi nikla, kao i na povećanju sadržaja FTC punila. Za validaciju ovih efekata, ispitane su i tri druge tipične legure za tvrdo navarivanje. Ovde su odabrane odgovarajuće ekonomski najrelevantnije legure žice sa punjenjem na bazi gvožđa, nikla i kobalta [3]-[4].

2. Materijali, mašine i metode ispitivanja koje se koriste

Testovi zavarivanja su izvedeni na sistemu za zavarivanje DURVELD Alpha firme DURUM VERSCHLEISS-SCHUTZ GmbH, opremljenim sa dva izvora napajanja od EWM AG. Pulsni EWM Alpha K552 je korišćen kao izvor napajanja za MAG i EWM TETRIKS 552 kao izvor napajanja za vruću žicu. Princip i podešavanje tehnologije zavarivanja prikazani su na slici 1. S235 JR je



material for welding tests. The examined alloys are indicated in table 1.

For experimental examination, four test materials were chosen to examine the procedure on different alloy base types. The materials here were chosen insofar as they had a high relevance for practice in addition to fundamentally different properties and applications of use:

DURMAT[®] FD 61: Fe-based alloy with complex carbides for wear protection

DUROLIT 6: Co-base alloy with eutectic precipitations

DUROLOY SE 12/50: self-fluxing Ni-based alloy with good abrasion and corrosion resistance

DURMAT[®] NIFD: Ni-based with FTC reinforcement for highest wear protection

korišćen kao osnovni materijal za ispitivanje zavarivanja. Ispitivane legure su navedene u tabeli 1.

Za eksperimentalno ispitivanje odabrana su četiri ispitna materijala za ispitivanje postupka na različitim osnovnim tipovima legura. Materijali koji su ovde odabrani bili su odabrani u meri u kojoj su oni imali veliku važnost za praksu pored fundamentalno različitih svojstava i primena:

- DURMAT[®] FD 61: Legura na bazi Fe sa kompleksnim karbidima za zaštitu od habanja

- DUROLIT 6: Legura sa bazom sa eutektnim talozima

- DUROLOI SE 12/50: samolepljiva legura na bazi Ni sa dobrom otpornošću na habanje i koroziju

- DURMAT[®] NIFD: Ni-bazirano sa FTC ojačanjem za najveću zaštitu od habanja.

Flux-cored wire Punjena žica DURMAT [®]	Main alloying additions in the used flux-cored wire (wt.%) Glavni legirajući elementi u korišćenim punjenim žicama					
	C	Cr	B	W	+	Bal.
FD61	5.2	22.0	<1.0	--	Nb: 7.0	Fe
DUROLOY 6	1.1	27.0	--	4.5	Fe: <4.0	Co
SE12/50	0.6	20.0	2.8	1.09	Si: 4.9 Mo: 2.5	Ni
NIFD	< 1.0	<5.0	<2.0	--	FTC 60%	Ni

Table 1: Chemical composition of the flux-cored wire alloy types examined

Tabela 1. Hemijski sastav ispitivanih punjenih žica

The focus of examination was on the FTC-reinforced nickel base alloy DURMAT[®] NIFD, which is the industrial standard at very high requirements. Furthermore, the highly chrome- and carbon-containing iron-based alloy DURMAT[®] FD 61 was chosen in the area of the classical wear protection. DURMAT[®] NIFD as pseudo alloys with a matrix of nickel and a high share of boron as well as large, embedded FTC particles offers a high degree of protection against abrasion and erosion. DURMAT[®] FD 61 offers a high content of primarily precipitated chrome and niobium carbides in eutectically reinforced austenitic matrix.

The very high content of primary carbides and high hardness in excess of 65 HRC offer good protection against abrasion and erosion as well. In addition, a nickel-based alloy and a cobalt-based alloy, which are also widely used, were examined for combined wear and corrosion resistance. The DUROLIT 6 alloy is used in many areas in which not only wear properties, but also good corrosion resistance and/or good high-temperature properties are required.

This alloy type typically has a hardness of 40-43 HRC and can be used through the network of

Fokus ispitivanja je bio na FTC-ojačanoj leguri na bazi nikla DURMAT[®] NIFD, koja je industrijski standard po veoma visokim zahtevima. Pored toga, u oblasti klasične zaštite od habanja izabrana je legura na bazi gvožđa sa visokim sadržajem hroma i ugljenika, DURMAT[®] FD 61. DURMAT[®] NIFD kao pseudo-legure sa matricom nikla i visokim udelom bora, kao i velikih, ugrađenih FTC čestica pruža visok stepen zaštite od abrazije i erozije. DURMAT[®] FD 61 nudi visok sadržaj primarno istaloženog hroma i niobijum karbida u eutektni ojačanoj austenitnoj matrici.

Vrlo visok sadržaj primarnih karbida i visoka tvrdoća iznad 65 HRC nude dobru zaštitu od abrazije i erozije. Pored toga, ispitivana je legura na bazi nikla i legura na bazi kobalta, koje su takođe u širokoj upotrebi, za kombinovanu otpornost na habanje i koroziju. Legura DUROLIT 6 se koristi u mnogim oblastima u kojima su potrebna ne samo svojstva otpornosti na habanje, već i dobra otpornost na koroziju i/ili dobra svojstva na visokim temperaturama.

Ovaj tip legure obično ima tvrdoću od 40-43 HRC i može se koristiti preko mreže hroma i volframovih karbida eutektni raspoređenih u CoCr matrici pri



chrome and tungsten carbides eutectically distributed in a CoCr matrix at a usage temperature of up to 900 °C, since it does not significantly reduce hardness across a large temperature range. DUROLOY SE 12/50 was chosen as a fourth alloy type that has high shares of chrome, silicone and boron, which gives it high corrosion resistance along with high hardness of approx. 50 HRC. This material is classically used to replace cobalt-based alloys. The flux-cored wires used were made by DURUM VERSCHLEISS-SCHUTZ GMBH in Germany. The same flux-cored wire diameter and alloy type was used for GMAW and for hot wire process. The respective hot wires, however, were optimized successively for use as hot wire according to the results from the preceding examination.

3. Process analysis and process optimization

Within the scope of this paper, the process behavior of the alloy DURMAT® NIFD was examined in detail. First, the behavior of the alloy in terms of energy introduction in conventional GMAW-welding was examined. For this, the welding voltage and wire feed rate were set at a wire diameter 1.2 mm and 2.4 mm so that different electric welding arc types formed.

According to the information in literature, the arc types short arc (KLB), transfer arc and spray arc were set [5]. Due to the low thermal stability of the hard phase FTC, which is very important for wear protection of this alloy, the hard phase content preserved completely as FTC was chosen as an evaluation criterion. Welding took place using stringer bead technique with a welding speed of 60 cm/min. Figure 2 shows the content of preserved FTC particles depending on the electric welding arc types used or the different welding voltages. It is clear that the increased energy input, e.g. in the arc types transitional arc and spray arc, clearly reduces the preserved FTC content. A considerable share of the WSC enclosed in the wire at the beginning is broken down into WC and carbon by the thermal effect of the electric arc during welding.

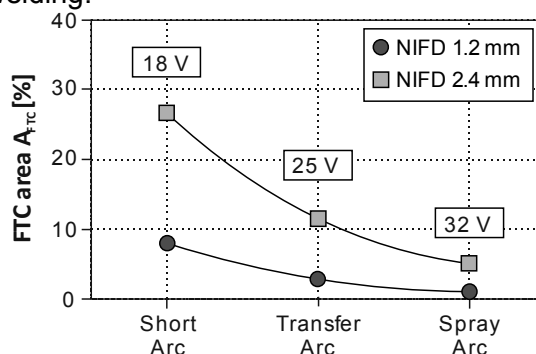


Figure 2: Interrelation between electric arc type and area percentage of the FTC share received

Slika 2. Međusobni odnos tipa luka i procenta površine zadržanog FTC

temperaturi upotrebe do 900 °C, budući da ne smanjuje značajno tvrdoću u velikom temperaturnom opsegu. DUROLOY SE 12/50 je izabran kao četvrti tip legure koja ima visok udeo hroma, silicijuma i bora, što joj daje visoku otpornost na koroziju uz visoku tvrdoću od cca. 50 HRC. Ovaj materijal se klasično koristi za zamenu legura na bazi kobalta.

Korišćene punjene žice proizvela je kompanija DURUM VERSCHLEISS-SCHUTZ GMBH u Nemačkoj. Za MAG i za proces sa vrućom žicom korišćen je isti prečnik punjene žice i tip legure. Odgovarajuće vruće žice, međutim, optimizovane su sukcesivno za upotrebu prema rezultatima iz prethodnog ispitivanja.

3. Analiza procesa i optimizacija procesa

U okviru ovog rada detaljno je ispitano ponašanje legure DURMAT® NIFD. Prvo, ispitano je ponašanje legure u smislu uvođenja energije kod konvencionalnog MAG-zavarivanja. Za to su napon zavarivanja i brzina dodavanja žice podešeni na prečnik žice 1,2 mm i 2,4 mm, tako da su formirani različiti oblici električnog luka.

Prema informacijama u literaturi, postavljeni su kratki lukovi tipa luka (KLB), prenosni luk i sprej luk [5].

Zbog niske termičke stabilnosti tvrde faze FTC, koja je veoma važna za zaštitu od habanja ove legure, kao kriterijum za ocenjivanje, izabran je sadržaj čvrste faze u potpunosti kao FTC. Zavarivanje je vršeno tehnikom pravih zavara sa brzinom zavarivanja od 60 cm / min. Na slici 2 prikazan je sadržaj sačuvanih čestica FTC u zavisnosti od korišćenih tipova električnog luka ili različitih napona zavarivanja. Jasno je da povećani unos energije, npr. u prelaznom tipu luka i sprej luku, očigledno se smanjuje očuvani sadržaj FTC. Značajan udeo WSC-a koji se nalazi u žici na početku je podeljen na WC i ugljenik toplotnim efektom električnog luka tokom zavarivanja.



Therefore, it could be confirmed that the alloy type DURMAT[®] NIFD has much better layer properties when welding with lower voltages in the short electric arc. Large voltage ranges lead to clear carbide dissolution. Additionally, it is evident that the flux-cored wire diameter of 2.4 mm has an advantage concerning the remaining carbide share in all electric arc types due to using larger FTC particles. For the further examination, the GMAW-wire was used in the short electric arc mode in the range of the FTC-reinforced nickel-based alloy DURMAT[®] NIFD. The additional hot wire was supplied to the process as another step now. In this case, wires with diameters 1.2 mm and 2.4 mm were examined in accordance with the preceding GMAW welding tests in order to examine the influence of the different hard phase contents and hard phase sizes. Firstly, the influence of the welding speed in string bead technique on the resulting contents of intact FTC when using both flux-cored wire diameters was examined. Reduction of the section energy coincides with reduction of the thermal stress on the hard phases due to the heat discharge that is usually 3-dimensional in surface welding. The ratio between GMAW wire and hot wire was stipulated at 3:2 here and all other welding parameters were kept constant. Evaluation of the area shares took place by ImageJ software in the cross-section. It could be shown here that the share of preserved FTC particles rises for both wire diameters as the welding speed increases and reaches a maximum at these parameters when a welding speed of 60 cm/min is reached.

Figure 3 shows the cross-section of DURMAT[®] NIFD with diameters of 1.2 mm and 2.4 mm of this test series with a welding speed of 60 cm/min. The cross-section shows that use of 1.2 mm wires leads to a highly homogeneous distribution of the carbides, but the carbides were dissolved slightly due to their low particle size.

Stoga se može potvrditi da tip legure DURMAT[®] NIFD ima mnogo bolje osobine sloja pri zavarivanju sa nižim naponom u kratko spojenom luku. Veliki rasponi napona dovode do jasnog rastvaranja karbida. Dodatno, očigledno je da prečnik punjene žice od 2,4 mm ima prednost u odnosu na preostali udeo karbida u svim tipovima luka usled korišćenja većih čestica FTC. Za dalje ispitivanje, MAG-žica je korišćena u kratkom luku u opsegu FTC-ojačane legure na bazi nikla DURMAT[®] NIFD.

Dodatna vruća žica je isporučena procesu kao još jedan korak. U ovom slučaju, ispitivane su žice prečnika 1,2 mm i 2,4 mm u skladu sa prethodnim testovima MAG zavarivanja kako bi se ispitaio uticaj različitih sadržaja tvrde faze i veličina tvrde faze. Prvo, ispitan je uticaj brzine zavarivanja u tehnici pravih zavara na rezultujući sadržaj netaknute FTC kod upotrebe oba prečnika punjene žice. Redukcija energije preseka podudara se sa redukcijom toplotnog napreznja na tvrdim fazama usled toplotnog pražnjenja koje je obično 3-dimenzionalno u površinskom zavarivanju. Odnos između MAG žice i vruće žice je ovde određen na 3: 2 i svi ostali parametri zavarivanja su ostali konstantni. Evaluacija udela područja obavljena je pomoću ImageJ softvera poprečnog preseka. Ovde se može pokazati da se udeo očuvanih čestica FTC-a povećava za oba prečnika žice, jer se brzina zavarivanja povećava i na tim parametrima dostiže maksimum kada se postigne brzina zavarivanja od 60 cm / min.

Slika 3 prikazuje poprečni presek DURMAT[®] NIFD prečnika od 1.2 mm i 2.4 mm, ove serije testova sa brzinom zavarivanja od 60 cm / min. Poprečni presek pokazuje da upotreba žica od 1,2 mm dovodi do veoma homogene raspodele karbida, ali su karbidi neznatno rastvoreni zbog njihove male veličine čestica.

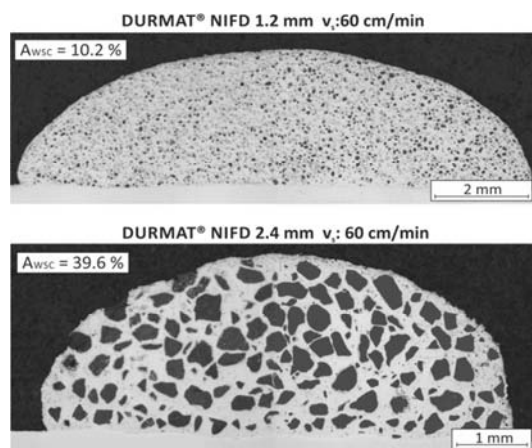


Figure 3: Cross-section of GMAW hot wire hardfacing: Welding speed $v_s = 60\text{cm/min}$
Slika 3. Poprečni presek tvrdog navara MAG sa vrućom žicom Brzina zavarivanja $v_s = 60\text{cm/min}$

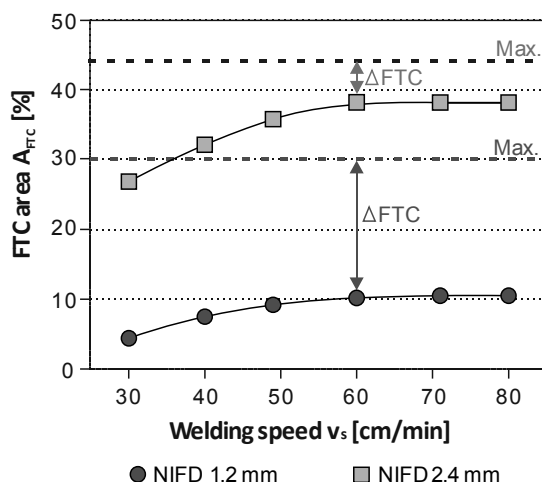


Figure 4: Connection between welding speed v_s and area percent of the FTC share received
Slika 4. Veza između brzine zavarivanja v_s i procenta površine zadržanog FTC

Nevertheless, completely intact FTC-particles will remain in the layer when using of an additional hot wire. The cross-section of the weld performed with 2.4 mm flux-cored wire diameter shows that a much higher content of FTC is completely preserved. The combination of much larger FTC particles with the hot wire method shows that the FTC particles can be preserved nearly entirely. On the one hand, this is because the share of WSC supplied by the hot wire cannot be overheated by the electric arc. On the other hand, however, the melt of the MIG/MAG wire is effectively cooled down by the supply of the hot wire. The interrelation between the welding speed and the area percentage of the completely preserved FTC is shown in figure 4.

Additionally, it becomes clear that use of larger FTC particles at a 2.4 mm flux-cored wire diameter achieves nearly the theoretical maximum of preserved FTC particles due to the low energy introduction to the hot wire. The difference ΔFTC between the theoretical maximum content and the content of intact FTC contained in the cross-section could be clearly reduced as compared to the 1.2 mm flux-cored wire and is shown in figure 5.

Additionally, the interrelation between the hot wire performance and the hot wire infeed was examined. The available performance range was between 0 and 560 A. Additionally, the operating point or the voltage applied to the hot wire could be adjusted in the hot wire power source. It was possible to feed in the hot wire, based on feed rate, so that no electric arc was ignited between the melting bath and the hot wire. The tests showed that there is a linear correlation between the hot wire infeed and the hot wire performance. The operating point could also be chosen so that low voltages in the range of 1 – 4 V were used at all times. This permitted introduction of the material

Ipak, potpuno netaknute FTC-čestice će ostati u sloju kada se koristi dodatna vruća žica. Poprečni presek navara izveden prečnikom od 2,4 mm punjene žicom pokazuje da je veći sadržaj FTC potpuno očuvan. Kombinacija mnogo većih FTC čestica metodom vruće žice pokazuje da se FTC čestice mogu sačuvati skoro u potpunosti. S jedne strane, to je zbog toga što udeo WSC koji se dobija od vruće žice ne može da se pregreje električnim lukom. S druge strane, međutim, rastop MIG / MAG žice se efektivno hladi dodavanjem vruće žice. Veza između brzine zavarivanja i procenta površine potpuno očuvanog FTC prikazana je na slici 4.

Pored toga, postaje jasno da korišćenje većih čestica FTC punjenom žicom prečnika od 2,4 mm postiže skoro teoretski maksimum očuvanih FTC čestica zbog uvođenja niske energije u vruću žicu. Razlika ΔFTC između teoretskog maksimalnog sadržaja i sadržaja netaknutog FTC sadržanog u poprečnom preseku može se jasno smanjiti u poređenju sa punjenom žicom od 1,2 mm i prikazana je na slici 5.

Pored toga, ispitan je i odnos između karakteristika vruće žice i napajanja vrućom žicom. Raspon dostupnih performansi bio je između 0 i 560 A. Dodatno, radna tačka ili napon koji se primenjuje na vruću žicu može se podesiti u izvoru napajanja vruće žice. Bilo je moguće napajati vruću žicu, na osnovu brzine napajanja, tako da nije došlo do paljenja električnog luka između tečneog kupatila i vruće žice. Testovi su pokazali da postoji linearna korelacija između napajanja vrućom žicom i performansi vruće žice. Radna tačka se takođe može izabrati tako da se u svakom trenutku koriste niski naponi u opsegu od 1 - 4 V. Ovo je omogućilo unošenje udela materijala kroz vruću žicu bez jake termičke dezintegracije FTC.

Ispitivanja su takođe pokazala dva jaka uticaja na topljenja vruće žice. S jedne strane, polaritet izvora



share introduced through the hot wire without any strong thermal disintegration of the FTCs. The examinations also showed two strong influences on the melting behavior of the hot wire. On the one hand, polarity of the hot wire power source influences deflection of the electric arc. The same polarity of both circuits produces a magnetic field through the wires through which current flows, according to Ampere's law on forces, which slightly deflects the electric arc towards the hot wire. This effect is usually known as the magnetic arc blowing effect in welding. By reverse polarity of the circuits, rejection of the electric arc from the hot wire can be achieved. Figure 5 schematically shows the influence of the power source polarity or magnetic fields on the position of the electric arc in welding. The distance between GMAW wire and hot wire was found to be a second great factor of influence. The hot wire must be introduced into the still liquid melting bath, but must not submerge in the preceding electric arc too far, since this in turn strongly increases the risk of thermal disintegration. Here, a complex interrelation between the variable hot wire infeed, hot wire power, hot wire position and hot wire polarity resulted. With the parameters chosen correctly, a stable process could be ensured at all times, though the welding process with additional hot wire is subject to limits here as well. It has become clear that introduction of the hot wire required increase of the main wire voltage by 1 – 2 V in order to achieve consistent process stability.

struje vruće žice utiče na odklon električnog luka. Isti polaritet oba kruga proizvodi magnetno polje kroz žice kroz koje struji struja, prema Amperovom zakonu o silama, blago skreće električni luk prema vrućoj žici. Ovaj efekat je obično poznat kao efekat produvavanja magnetnog luka pri zavarivanju. Obrnutim polaritetom kola može se postići odbijanje električnog luka od vruće žice. Slika 5 shematski prikazuje uticaj polariteta izvora napajanja ili magnetnih polja na položaj električnog luka u zavarivanju.

Utvrđeno je da je udaljenost između žice za MAG i vruće žice, drugi veliki faktor uticaja. Vruća žica se mora uvesti u još tečno kupatilo, ali se ne sme preterano uroniti u prethodni električni luk, jer to opet povećava rizik od termičkog raspadanja. Ovde je došlo do složene međusobne povezanosti između varijabilnog dovoda vruće žice, snage vruće žice, pozicije vruće žice i polariteta vruće žice. Sa ispravno izabranim parametrima, u svakom trenutku bi se mogao osigurati stabilan proces, iako je i proces zavarivanja dodatnom žicom podložan ograničenjima. Postalo je jasno da je uvođenje vruće žice zahtevalo povećanje glavnog napona žice za 1 - 2 V kako bi se postigla stalna stabilnost procesa.

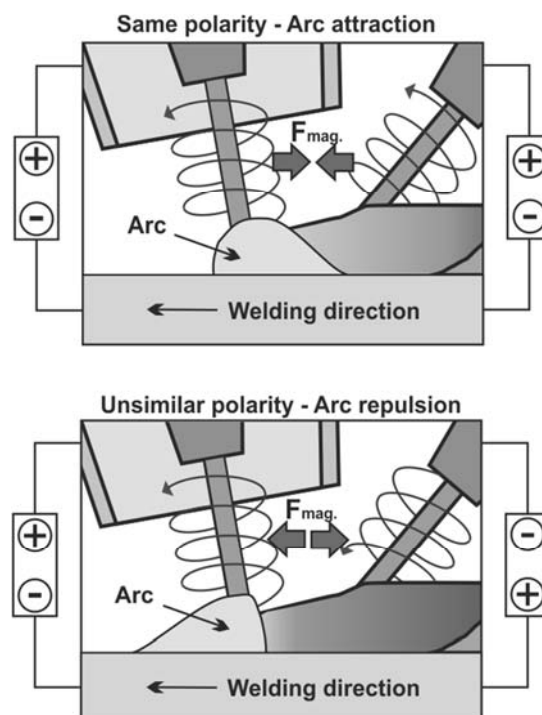


Figure 5: Influence of the magnetic fields on the position of the electric arc in welding: different polarity
Slika 5. Uticaj magnetnih polja na položaj električnog luka pri zavarivanju: Različiti polaritet



It has also become clear that the magnetic field produced by the hot wire may impair process stability of the GMAW wire if the distance is too short, when the GMAW wire is welded in the short electric arc. Here, further tests are performed at the moment, which examine the influence of optimized characteristic curves for the short electric arc range and for the impulse electric arc range.

4. Metallographic results

Use of the oscillating welding technique was examined in detail for practice examination of the alloys. Here, the slower welding speed directly increases the section energy, which usually leads to a slight to medium reduction of the FTC particles in the range of the nickel-based alloys with FTC reinforcement, though the influence of fluctuating process stability can be clearly minimized in this manner. For all alloy types, the influence of increasing addition of a hot wire to the microstructure was examined systematically. Therefore feed rate, voltage and current of the GMAW wire have been kept constant while the feeding rate of the hot wire has been increased. Equally, the welding speed was increased at the same time in order to produce a comparable bead geometry. The further process parameters, such as free wire lengths, oscillation parameters, angles of attack, etc. were kept constant. It becomes clear that a small addition of hot wire already essentially influences the resulting layer structures. Thus, the addition of hot wire can clearly improve the distribution of FTC particles in the layer, and significantly increase the share of FTC particles received. It is equally visible that the FTC grain size used is nearly completely preserved due to the low thermal stress at the highest hot wire feed rate even at a high melting rate of 10.8 kg/h. For the alloy version DUROLIT 6, thermal stress of the wire filling is desired, in contrast to the FTC-containing nickel-based alloys, in order to produce a homogeneous structure without defects and segregations. Since the technical properties of this alloy are primarily determined by the chemical composition, the mixture with the base material is decisive. It has become clear that a very low dilution of less than 10% can be reached with a 1-layer welding already, and that the hardness of pure welding material is already achieved. This could also be confirmed by the chemical composition at the surface. The 1-layer weld already completely achieved the technical properties of the alloy.

The material DUROLOY 12/50 was chosen as an alternative to cobalt-based alloys with a hardness of 48-52 HRC. Since this alloy is also primarily

Takođe je postalo jasno da magnetno polje koje proizvodi vruća žica može da naruši stabilnost procesa MAG žicom ako je udaljenost mala, kada se MAG žica koristi kratko spojenim lukom. Ovde se u ovom trenutku sprovode dalja ispitivanja koja ispituju uticaj optimiziranih karakterističnih krivih za raspon kratko spojenog luka i za raspon impulsnog električnog luka.

4. Metallographic results

Primena tehnike oscilujućeg zavarivanja detaljno je ispitana kroz praktično ispitivanje legura. Ovde, sporija brzina zavarivanja direktno povećava energiju preseka, što obično dovodi od manje do srednje redukcije FTC čestica u opsegu legura na bazi nikla sa FTC pojačanjem, mada se uticaj fluktuirajuće stabilnosti procesa može jasno minimizirati u na ovaj način. Za sve tipove legura sistematski je ispitivan uticaj povećanja dodavanja vruće žice na mikrostrukturu. Zbog toga se brzina dodavanja, napon i struja MAG žice održavaju konstantnim dok se brzina dodavanja vruće žice povećava. Isto tako, brzina zavarivanja je povećana u isto vreme kako bi se dobila uporediva geometrija navara. Dalji parametri procesa, kao što su dužina slobodnog kraja žice, parametri oscilacije, uglovi napada, itd. Su ostali konstantni. Postalo je jasno da mali dodatak vruće žice već bitno utiče na strukture nastalih slojeva. Dakle, dodavanje vruće žice može jasno poboljšati distribuciju FTC čestica u sloju, i značajno povećati udeo primljenih FTC čestica. Jednako je vidljivo da je FTC veličina zrna koja se koristi skoro u potpunosti očuvana zbog niskog toplotnog naprežanja pri najvećoj brzini dodavanja vruće žice čak i pri visokoj stopi topljenja od 10,8 kg / h.

Za legure DUROLIT 6, poželjno je termičko naprežanje punjene žice, za razliku od legura na bazi nikla, kako bi se dobila homogena struktura bez defekata i segregacija. Pošto su tehničke osobine ove legure primarno određene hemijskim sastavom, odlučujuća je smeša sa osnovnim materijalom. Postalo je jasno da se vrlo slabo razređivanje manje od 10% može postići već sa 1-slojnim zavarivanjem i da je tvrdoća čistog materijala za zavarivanje već postignuta. Ovo se takođe može potvrditi hemijskim sastavom na površini. 1-slojng navara koji je već u potpunosti postigao tehničke osobine legure

Materijal DUROLOY 12/50 je izabran kao alternativa za legure na bazi kobalta tvrdoće od 48-52 HRC. Pošto se ova legura primarno koristi kada je potrebna kombinacija zaštite od habanja i korozije, ispitali smo tvrdoću, hemijski sastav na površini i razblaživanje. Razblaživanje je bilo na niskoj vrednosti od 14.6%. Legura je tako dostigla



used when a combination of wear and corrosion protection is needed, we have examined the hardness, the chemical composition at the surface, and the dilution. The dilution was at a low value of 14.6 %. The alloy thus reached the required hardness with an average of 49.7 HRC in the first layer already. To review the chemical composition, the samples were then polished at the surface and examined with a spark spectrometer (OES). The iron content, e.g., could be lowered by about factor 7 from 20.9 % to 2.85 % at the surface of the 1-layer weld as compared to the MIG welding. Within the scope of the examination, the alloy DURMAT® FD 61 was also welded by oscillation technique and examined, as is common when producing wear plates.

First, it could be shown that the welding type Open Arc (OA), i.e. welding without inert gas with self-protecting flux-cored wires, is possible with the OA hot wire method used in this case with high melting rates of approx. 9 kg/h. It becomes evident that the dilution of only 14.2 % could achieve a Rockwell hardness of 69.2 HRC in the first layer, while the melting rate was very high at the same time. Here, the hardness in the first layer was increased by 4.3 HRC as compared to the open arc welding. Figure 6 shows the cross-sections with indication of the technically relevant parameters and layer properties of the DURMAT® NIFD, DUROLIT 6, DUROLOY SE 12/50 and DURMAT® FD 61 materials when using the GMAW/OA hot wire method.

zahtevanu tvrdoću sa prosekom od 49,7 HRC u prvom sloju. Da bi se pregledao hemijski sastav, uzorci su zatim polirani na površini i ispitani spektrometrom (OES). Sadržaj gvožđa, npr., može se smanjiti za približno faktor 7 sa 20.9% na 2.85% na površini 1-slojnog zavora u poređenju sa MIG zavarivanjem. U okviru ispitivanja, legura DURMAT® FD 61 je takođe zavorena tehnikom oscilacija i ispitana, kao što je uobičajeno kod izrade ploča za habanje.

Prvo, može se pokazati da je tip zavarivanja otvorenim lukom (OA), tj. zavarivanje bez inertnog gasa samozaštitnim punjenim žicama, moguće sa OA metodom vruće žice koja se koristi u ovom slučaju sa visokim stopama topljenja od oko 9 kg / h. Očigledno je da bi razređivanje od samo 14,2% moglo da postigne tvrdoću od 69,2 HRC u prvom sloju, dok je stopa topljenja bila veoma visoka u isto vreme. Ovde je tvrdoća u prvom sloju povećana za 4,3 HRC u poređenju sa zavarivanjem otvorenim lukom. Na slici 6 prikazani su poprečni preseki sa naznakom tehnički relevantnih parametara i svojstava slojeva materijala DURMAT® NIFD, DUROLIT 6, DUROLOY SE 12/50 i DURMAT® FD 61 kada se koristi metoda MAG / OA vruća žica.

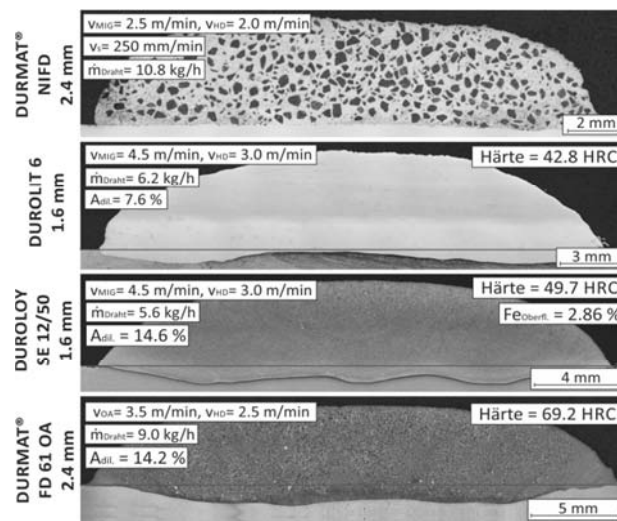


Figure 6: Overview of GMAW hot wire hardfacings
Slika 6. Pregled MAG tvrdog navarivanja sa vrućom žicom

5. Applications

The GMAW hot wire surface welding offers clear advantages for all examined alloy types concerning the layer properties and/or productivity. At the moment, transfer to practice is performed on several sample parts already, since the first

5. Primena

MAG zavarivanje vrućom žicom nudi jasne prednosti za sve ispitivane vrste legura koje su vezane za svojstva sloja i / ili produktivnost. U ovom trenutku, transfer na praksu se već izvodi na nekoliko uzoraka, jer su prvi preliminarni testovi na



preliminary tests using customer parts in the welding plant DURWELD Alpha led to promising results. The welding system is presented in figure 7. One possible area of application for the method in combination with the alloy DURMAT® NIFD is protection of the blade components or taper tap parts in open pit mining, figure 8. The highly wear-stressed areas required highest wear protection, since not only the less aggressive coal, but also regular overlay with many different compositions will be mined to expose the coal.

korisničkim delovima u fabrici za zavarivanje DURVELD Alpha doveli do obećavajućih rezultata. Sistem zavarivanja je prikazan na slici 7. Jedna od mogućih oblasti primene ove metode u kombinaciji sa legurom DURMAT® NIFD je zaštita komponenti sečiva ili konusnih delova u rudniku na otvorenom kopu, slika 8. Područja sa visokim opterećenjem na habanje zahtevaju najveću zaštitu od habanja, jer će ne samo manje agresivni ugalj, već i regularni sloj sa mnogo različitih sastava biti iskopan da bi se izdvojio ugalj.

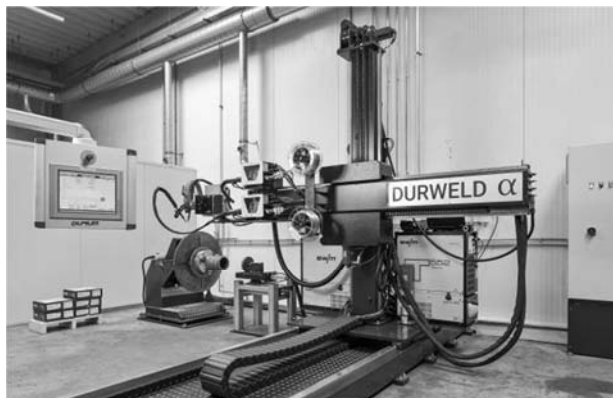


Figure 7: Welding system DURWELD Alpha used with EWM current source techniques
Slika 7. Sistem zavarivanja DURWELD Alpha korišćen sa EWM strujnim izvorima



Figure 8: Potential application: open-cast mining

Slika 8. Potencijalna primena: rudarstvo

6. Conclusion and outlook

Use of the GMAW hot-wire method can significantly increase the share of completely preserved FTC particles in the area of FTC-reinforced nickel-base alloys due to the reduced thermal stress on the filler material. It could be shown in the range of iron-, nickel- and cobalt-base alloys that use of the hot-wire technique reduced the respective dilution with base material and clearly improved the technical properties in single-layer application. Based on these results, further materials are being examined as well, since it can be assumed that at much larger number of materials can be processed with more beneficial properties than can be achieved in the conventional method when using the GMAW

6. Zaključak

Upotreba MAG metode sa vrućom žicom može značajno povećati udeo potpuno sačuvanih FTC čestica u području FTC-ojačanih legura na bazi nikla zbog smanjenog termičkog naprezanja dodatnog materijala. U opsegu legura na bazi gvožđa, nikla i kobalta može se pokazati da je upotreba tehnike vruće žice smanjila odgovarajuće razređivanje- mešanje sa osnovnim materijalom i jasno poboljšala tehnička svojstva u jednoslojnoj primeni. Na osnovu ovih rezultata, u slučaju MAG metode sa vrućom žicom., razmatraju se i drugi materijali, budući da se može pretpostaviti da se mnogo veći broj materijala može obraditi sa povoljnijim svojstvima nego što se postiže



hot-wire method. Additionally, further adjustment of the power source's characteristic curves in the range of the short electric arc and pulse arc to the respective flux-cored wire types is currently underway in order to achieve optimally coordinated process conditions.

konvencionalnom metodom, Dodatno, u toku je dalje prilagođavanje karakterističnih krivih izvora napajanja u opsegu kratko spojenog električnog luka i impulsnog luka prema odgovarajućim vrstama punjene žice kako bi se postigli optimalno koordinirani procesni uslovi.

References

- [1] Schreiber, F.: Wolfram-Schmelzkarbid im Verschleißschutz: Besonderheiten bei der schweißtechnischen Verarbeitung und Qualitätssicherung, 3. Fachtagung, Verschleißschutz von Bauteilen durch Auftragschweißen, (2000)
- [2] Uetz, H.: Abrasion und Erosion, Carl Hanser Verlag München Wien (1986)
- [3] Knotek, O., Lugscheider, R., Eschnauer H.R.: Hartlegierungen zum Verschleißschutz, Düsseldorf, Verlag Stahleisen (1975)
- [4] Berns, H.: Hartlegierungen und Hartverbundwerkstoffe, Springer-Verlag Berlin Heidelberg (1998)
- [5] Dilthey, U., Schweißtechnische Fertigungsverfahren 1, Springer-Verlag, Heidelberg (2006)

Podsećamo Vas da je članarina za 2019.g ostala
nepromenjena i iznosi 3500,00 dinara.

Uplatom članarine stičete pravo na GRATIS godišnje izdanje
časopisa "ZAVARIVANJE I ZAVARENE KONSTRUKCIJE"

Tekući račun DUZS: 355-1025530-87

Informacije:

+ 381 (11) 2420-652





GODIŠNJI SASTANAK RADNIH GRUPA MEĐUNARODNOG INSTITUTA ZA ZAVARIVANJE (IIW)

Godišnji sastanci radnih grupa Međunarodnog instituta za zavarivanje – MIZ, ove godine su održani u sedištu Instituta za zavarivanje u Villepinte – Paris, Francuska od 14-18. januara.

Kao što je uobičajeno, u tri celodnevna sastanka Međunarodne grupe za ovlašćivanje (IAB International Authorisation Board) održani su sastanci Grupe A-Obuka, trening i sertifikacija osoblja u zavarivanju, Grupe B- primena pravila, dokumenata i procedura IAB grupe i konačno sastanak članica IAB grupe, gde se suštinski donose odluke o strategiji razvoja i delatnosti IAB u delu obrazovanja kadrova u zavarivanju po pravilima MIZ-a.

Ove godine, pored redovnih aktivnosti našeg predstavnika u IAB Grupi, značajno mesto je zauzeo sastanak radne grupe za regionalnu saradnju Međunarodnog instituta za zavarivanje.

Kako je uobičajeno, na sastanku Radne grupe za regionalnu saradnju (Working Group on Regional Activities) se diskutovalo o međunarodnim manifestacijama poput Konferencija, Kongresa, seminara i/ili Godišnje skupštine MIZ-a.

Na ovim sastancima se donose i odluke koja manifestacija će dobiti status manifestacije od svetskog interesa, što znači da može da se tretira kao manifestacija Međunarodnog instituta za zavarivanje (IIW Kongres na primer). Inače, veoma je mali broj manifestacija (1-3 godišnje) koje imaju takav tretman.

Za 2018. Godinu, 4. Regionalni Kongres o zavarivanju zemalja jugoistočne Evrope, koji je u organizaciji DUZS-a održan u Beogradu od 10-13. oktobra 2018. godine, je imao tretman manifestacije (jedna od dve u 2018. godini) od opšteg značaja za MIZ, odnosno tretman IIW Kongres. Koorganizatori su bili i rumunsko i bugarsko društvo za zavarivanje.

Na sastanku održanom 17. januara naš predstavnik, dr Vencislav Grabulov, predsedavajući 4th IIW South-East European Welding Congress je podneo izveštaj o održanom Kongresu i pratećih manifestacija (Radionica zemalja Regiona, Izložba....). Činjenica da je bilo prisutno ukupno oko 200 učesnika, izloženo preko 60 radova autora iz 26 zemalja i 8 uvodnih predavača – svetski priznatih autoriteta iz Međunarodnog Instituta za zavarivanje i Evropske federacije za zavarivanje (EWF) potvrdila je da je ambiciozan Plan organizatora ostvaren na zadovoljstvo članova grupe za Regionalnu saradnju MIZ-a na čelu sa predsedavajućim grupe gospodinom Dan Tadic-em iz Kanade i Cecille Mayer izvršnim direktorom MIZ-a. Zapažen je bio podatak da je na jednom mestu, u isto vreme bilo prisutno 10 funkcionera MIZ-a i EWF-a a da to nije bila Godišnja skupština MIZ-a.

Konačno, izveštaj o održanom 4th IIW South-East European Welding Congress je usvojen uz zaključak da je DUZS odnosno Srbija opravdala poverenje. Kao dodatak je i pohvala za organizaciju Radionice zavarivačkih asocijacija iz regiona po temi "Saradnja u regionu u oblasti zavarivanja", posebno ako se potencira da je to do sada najmasovniji skup tog karaktera, jer su sa unapred spremljenim izlaganjima učestvovali predstavnici 7 zemalja iz regiona (Rumunija, Bugarska, Grčka, Turska, Mađarska, Grčka i Srbija) uz podršku članova MIZ-a iz regiona Slovenije i Hrvatske i uz učešće predstavnika zavarivačkih asocijacija iz zemalja koje nisu članice MIZ-a iz regiona kao što su Makedonija, Bosna i Hercegovina i Crna Gora.

Vencislav Grabulov je iskoristio priliku i u sedištu MIZ-a, za vreme podnošenja izveštaja, još jednom potencirao zasluge i podršku velikog broja sponzora, saradnika DUZS-a koji su ključno doprineli uspehu ove manifestacije.

Dokazali smo da članovi DUZS-a uz podršku sponzora i prijatelja iz zavarivačkog sveta iz Regiona jugoistočne Evrope, mogu da održe manifestaciju na svetskom nivou, poštujući sva pravila i ispunjujući sve zahteve koje MIZ postavlja pred organizatore.

Dr Vencislav Grabulov, IWE
Izvršni rukovodilac DUZS CertPers



M. M. Farag¹, M. A. Morsy², M. R. El Koussy³

PREVENT CRACKING IN DEPOSITION OF CARBON STEEL ON INCONEL 625

SPREČAVANJE NASTANKA PRSLINA PRI NANOŠENJU UGLJENIČNOG ČELIKA NA INCONEL 625

Originalni naučni rad / Original scientific paper

Rad je u izvornom obliku objavljen u okviru 71. IIW godišnje Skupštine i međunarodne konferencije održane na Baliu-Indonezija 15-20. Jula 2018

Rad primljen / Paper received:

Januar 2019.

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

Ključne reči: Granica zrna tipa II, martenzit, naprezanje na granici stapanja, pritisni naponi, razblaživanje, rafinacija zrna, migracija ugljenika, PWHT

Abstract

Welding procedure of clad steel including deposition of carbon steel on nickel base alloy usually gives unaccepted mechanical properties. Cracks were formed along type II boundary in nickel base alloy pass and a martensitic layer was formed in carbon steel pass. In this paper, cracks along type II boundary were prevented by lowering the martensitic start temperature (T_{Ms}) of the martensitic layer. Decreasing of T_{Ms} was obtained by two methods: *Dilution method* and *Grain refining method*. Three levels of T_{Ms} (approximately 350, 200, and 50°C) are obtained. The results showed that: cracks along type II boundary were prevented at T_{Ms} lower than 200°C; however type II boundary itself was prevented at T_{Ms} lower than 50°C. Also post weld heat treatment was necessary to achieve accepted impact properties.

1. Introduction

Welding of carbon steel pipes (X65) clad by nickel base alloy (Inconel 625) are usually being welded by AWS A5.14- ERNiCrMo3 filler metal. A trial was attempted to weld first and second passes by AWS A5.14- ERNiCrMo3 and subsequent passes by AWS A5.1 E7018. Unaccepted mechanical properties were resulted due to creation of cracks along type II boundary and formation of martensitic layer in carbon steel deposit [1]. In the present paper an unconventional idea was developed to prevent cracking along type II boundary. This idea is illustrated schematically in Fig1, where martensite which formed in carbon steel pass (3rd pass) was induced compressive

Adresa autora / Author's address:

¹Welding Engineer in Petrojet Company

²Associate professor, Central Metallurgical R&D Institute CMRDI

³Prof, Dept. of Metallurgy, Faculty of Engineering Cairo University

²morsy_abokhala@yahoo.com

Key words: Type II grain boundary, Martensite, Stress at fusion boundary, Compressive stresses, Dilution, Grain refining, Carbon migration, PWHT

Rezime

Tehnologija zavarivanja platiranog čelika, uključujući nanošenje ugljeničnog čelika na leguru nikla, obično daje neprihvatljiva mehanička svojstva. Prsline su formirane duž granice tipa II u prolazu od legure nikla i formiran je martenzitni sloj u prolazu od ugljeničnog čelika. U ovom radu, prsline duž granice tipa II su sprečene smanjenjem martenzit start temperature (T_{Ms}) martenzitnog sloja. Smanjenje T_{Ms} je postignuto na dva načina: metodom razblaživanja i metodom rafinacije zrna. Dobijena su tri nivoa T_{Ms} (približno 350, 200 i 50°C). Rezultati su pokazali da su: prsline duž granice tipa II bile sprečene kod T_{Ms} nižih od 200°C; međutim, sama granica tipa II bila je sprečena kod T_{Ms} niže od 50°C. Takođe je bila potrebna toplotna obrada nakon zavarivanja da bi se postigle prihvatljive karakteristike udarnih osobina.

1. Uvod

Zavarivanje cevi od ugljeničnog čelika (X 65) platirane legurom na bazi nikla (Inconel 625) obično se zavaruju dodatnim materijalom prema AWS A5.14- ERNiCrMo3. Pokušano je da se koristi za prvi i drugi prolaz AWS A5.14-ERNiCrMo3 a naredni prolazi sa AWS A5.1 - E7018. Neprihvatljiva mehanička svojstva nastala su zbog stvaranja prslina duž granice tipa II i formiranja martenzitnog sloja u nanetom sloju ugljeničnog čelika [1]. U ovom radu je razvijena nekonvencionalna ideja za sprečavanje prslina duž granice tipa II. Ova ideja je šematski ilustrovana na slici 1, gde je martenzit koji je nastao u prolazu ugljeničnog čelika (treći prolaz) izazvan pritisnim



stresses on 2nd inconel pass; hence cracks were prevented. It must be mentioned that the idea of promoting martensitic formation in welds was considered a departure from conventional thinking [2]. But in the present work martensite would be beneficial if lower martensite start temperature was achieved. Lowering martensite start temperature (T_{Ms}) means that more compressive stresses were induced at surrounding passes i.e. transformation induced compressive stresses generation [2-4]. T_{Ms} can be controlled by chemical composition and by grain size [5-7].

Two methods were used to reduce T_{Ms} of the 3rd pass. The first one was described as "Dilution Method". In this method, dilution level was increased by increasing the welding current. This means that more alloying elements (mainly Ni and Cr) would transfer from the 2nd pass (Inconel) to the 3rd pass (carbon steel). These alloying elements will increase the hardenability and decrease T_{Ms} . The second method was described as "Grain Refining Method". In this method T_{Ms} decreased by decreasing grain size of the 3rd pass. The composition of the 3rd pass was similar to martensitic stainless steel [1]. Thus, tempering is necessary to provide the required notch toughness [8]. The post weld heat treatment (PWHT) was applied for welds free cracks.

naprezanjima na drugom prolazu od inkonela; stoga su sprečene prsline. Mora se napomenuti da je ideja promovisanja stvaranja martenzita u zavarenim spojevima, smatrana odstupanjem od konvencionalnog razmišljanja [2]. Ali u sadašnjem radu, martenzit bi bio koristan ako bi se postigla niža martenzit start temperatura. Spuštanje martenzit start temperature martenzita (T_{Ms}) znači da su u okolnim prolazima izazvana veća pritiska naprezanja, tj. stvaranje pritisnih naprezanja izazvanih transformacijom [2-4]. T_{Ms} se mogu kontrolisati hemijskim sastavom i veličinom zrna [5-7].

Dve metode su korišćene za smanjenje T_{Ms} trećeg prolaza. Prva je opisana kao "Metoda razblaživanja". U ovoj metodi, nivo razređenja je povećan povećanjem struje zavarivanja. To znači da bi više legirajućih elemenata (uglavnom Ni i Cr) prelazilo iz 2.og prolaza (Inconel) u 3. prolaz (ugljenični čelik). Ovi legirajući elementi će povećati tvrdoću i smanjenje T_{Ms} . Druga metoda je opisana kao "Metoda rafinacije zrna". U ovoj metodi T_{Ms} je smanjen smanjenjem veličine zrna 3-eg prolaza. Sastav 3.eg prolaza je bio sličan martenzitnom nerđajućem čeliku [1]. Prema tome, otpuštanje je neophodno da bi se obezbedila zahtevana udarna žilavost [8]. Toplotna obrada nakon zavarivanja (PWHT) primenjena je kod šavova bez prsline.

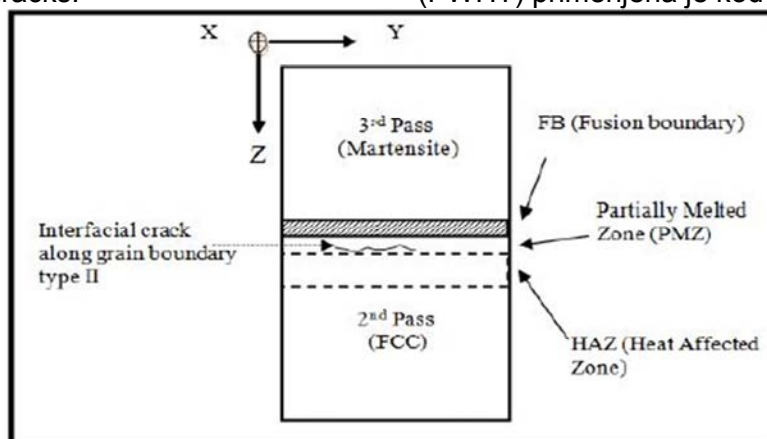


Fig 1. Schematic diagram illustrated the idea of using martensite which formed in 3rd pass to prevent crack along type II boundary in 2nd pass: "X" longitudinal, "Y" transverse and "Z" through thickness

Slika 1. Šematski dijagram ilustruje ideju upotrebe martenzita koji je nastao u 3. prolazu da bi se sprečila prsline duž granice tipa II u drugom prolazu: "X" podužno, "Y" poprečno i "Z" kroz debljinu

2. Experimental procedure

2.1. Welding and Material

Base metal was API 5L Grade X-65 pipe steel with 305 mm diameter, 21.4 mm thickness and clad with 2 mm thickness of inconel 625. Filler metals used in this study were AWS A5.14 ERNiCrMo3 and AWS A5.1E7018. The test coupon pipes were fabricated with full penetration single groove butt joint with 60 degrees included angles. Welding was done using flat position "1G". As shown in Table1, gas tungsten arc welding (GTAW) process with

2. Eksperiment

2.1. Zavarivanje i materijal

Osnovni materijal je cev od API 5L X-65 čelika prečnika 305 mm, debljine 21,4 mm i platirana slojem debljine 2 mm od inkonela 625. Korišćeni dodatni materijali u ovom istraživanju bili su AWS A5.14 - ERNiCrMo3 i AWS A5.1 - E7018. Ispitne cevi su proizvedene sučeonim spojem sa potpunim uvarivanjem, jednostranim žljebovima sa uglovima od 60 stepeni. Zavarivanje je obavljeno u položaju "1G". Kao što je prikazano u Tabeli 1, korišćen je



pure argon shielding gas was used to weld first and second passes using AWS A5.14- ERNiCrMo3 filler metal. The heat inputs of the 1st and 2nd passes were lowered as possible (about 0.9KJ/mm) to minimize dilution.

Table 1 shows that: two methods were used to weld the 3rd pass. The first one was described as "*Dilution Method*". In this method; the 3rd pass was welded by shielded metal arc welding (SMAW) process using AWS A5.1 E7018. Three levels of dilution were achieved by using three cases of heat input (about 1.2, 1.4 and 2.0 KJ/mm). The second method was described as "*Grain Refining Method*". In this method, the 3rd pass was welded by flux cored arc welding (FCAW) process using E70T-4. The subsequent passes of the two methods were welded by SMAW using AWS A5.1 E7018. The welding variables were listed and illustrated in Table 1.

TIG postupak zavarivanja (GTAW) sa čistim argonom kao zaštitnim gasom za zavarivanje prvog i drugog prolaza pomoću AWS A5.14-ERNiCrMo3. Unos toplote prvog i drugog prolaza je smanjen što je više moguće (oko 0.9KJ / mm) da bi se smanjilo razblaživanje.

Tabela 1 pokazuje da su dve metode korišćene za zavarivanje 3. prolaza. Prva je opisana kao "Metoda razblaživanja". U ovoj metodi; treći prolaz je izveden ručnim elektrolučnim postupkom zavarivanja (SMAW) pomoću AWS A5.1 - E7018. Tri nivoa razređenja postignuta su korišćenjem tri slučaja unosa toplote (oko 1,2, 1,4 i 2,0 KJ / mm). Druga metoda je opisana kao "Metoda rafinacije zrna". U ovoj metodi, treći prolaz je zavaren postupkom zavarivanja punjenim žicama (FCAW) korištenjem E70T-4. Sledeći prolazi dve metode su zavareni SMAW postupkom pomoću AWS A5.1-E7018. Promenljive zavarivanja su navedene i ilustrovane u Tabeli 1.

Welding Process	Electrode		Pass	Travel Speed (mm/sec)	Current (amp)	Voltage (V)	Heat Input (KJ/mm) ± 25%	Others
	Type	Diameter (mm)						
GTAW	AWS A5.14-ERNiCrMo3	2	1 st	0.8	110	9	0.92	(1)
			2 nd	1.2	150	10	0.93	
Dilution Method								
Case I								
SMAW	AWS A5.1 E7018	2.4	3 rd	1.4	95	22.5	1.2	(2)
			Filling	1.4	95	22.5	1.2	
			Cap	1.4	95	22.5	1.2	
Case II								
SMAW	AWS A5.1 E7018	2.4	3 rd	1.4	110	22.5	1.4	(2)
			Filling	1.4	110	22.5	1.4	
			Cap	1.4	110	22.5	1.4	
Case III								
SMAW	AWS A5.1 E7018	2.4	3 rd	1.4	150	24	2	(2)
			Filling	1.4	150	24	2	
			Cap	1.4	150	24	2	
Grain Refining Method								
FCAW-S	E70T-4	1.6	3rd	4.7	280	27	1.3	(3)
SMAW	AWS A5.1 E7018	2.4	Filling	1.4	95	22.5	1.2	(2)
			Cap	1.4	95	22.5	1.2	

Table 1. Welding variables

(1) Inter pass temperature was about (115±5)°C

(2) Inter pass temperature was about (200°C±5)

(3) Feed rate = 87mm/s & Tip to work distance = 20 mm

Tabela 1. Promenljive zavarivanja

(1) Međuslojna temperatura je oko (115±5)°C

(2) Međuslojna temperatura je oko (200°C±5)

(3) Brzina dodavanja = 87mm/s i rastojanje vrh-radni komad = 20 mm



2.2. Post Weld Heat Treatment

Tempering was proceeded at 720°C and 3 hours holding time. Tempering was applied only for crack free welds.

2.3. Microstructural Characterization

Specimens were cut and prepared for mechanical tests in accordance with ASME-Section IX, where tensile, impact and bend test are required. The specimens for impact test were prepared from cap and root (including the 3rd pass). Microstructural characterization was performed using optical metallography and scanning electron microscope. Because of the wide range of compositions and microstructures, a number of chemical etchants were used. Nital (2 mL HNO₃ and 98 mL ethanol) was used to reveal martensitic structure; Vilella's reagent (5 mL HCl, 1 gram picric acid, and 100 mL ethanol) was used to reveal grains of martensite. Mixed acids (equal parts of HCL, HNO₃, and acetic acids) were used to reveal grain boundaries of nickel base alloy. Microhardness across transition region was measured using diamond pyramid indenter in conjunction with both 10 and 100 gram loads.

2.4. Determination of Martensite Start Temperature (T_{Ms}) for the 3rd Pass

In this investigation, T_{Ms} was calculated using empirical equations. For dilution method, Gooch equation (Eq.1) [9] was used. This equation is usually used for martensitic stainless. However, for grain refining method; Lee equation (Eq. 2) [10] was used. This equation considers the effects of chemical composition and austenite grain size on martensite start temperature.

$$M_s (^{\circ}C) = 540 - (497C\% + 6.3Mn\% + 36.3Ni\% + 10.8Cr\% + 46.6Mo\%) \quad (\text{Eq. 1})$$

$$M_s (^{\circ}C) = 402 - 797G + 14.4Mn + 15.3Si - 31.1Ni + 345.6Cr + 434.6Mo + (59.6C + 3.8Ni - 41Cr - 53.8Mo) \cdot G \quad (\text{Eq. 2})$$

Where G is the ASTM austenite grain size and elements in weight fraction

Typical EDX detector was used to measure chemical composition of the 3rd pass. But this detector can detect a limited range of X-ray energies so light elements (Z<10) such as carbon, nitrogen cannot be measured accurately. To overcome this problem; in the present work; estimated complete chemical composition was determined using back calculation methodology as follows:

1. Major alloying elements such as Fe, Ni and Cr were determined by EDX analysis. Then dilution levels of major elements were calculated using Eq. 3 [6].

$$D = (C_w - C_f) / (C_b - C_f) \quad (\text{Eq. 3})$$

2.2. Termička obrada posle zavarivanja

Otpuštanje je obavljeno na 720°C i 3 sata zadržavanja. Otpuštanje je primenjeno samo za zavarene spojeve.

2.3. Mikrostrukturna karakterizacija

Uzorci su isečeni i pripremljeni za mehanička ispitivanja u skladu sa ASME-Deo IX, gde su potrebni zatezni, udarni i savojni testovi. Uzorci za udarnu žilavost pripremljeni su iz vrha/pokrivni zavar) i korena (uključujući i treći prolaz). Mikrostrukturna karakterizacija je izvedena optičkom mikroskopijom i skenirajućim elektronskim mikroskopom. Zbog širokog spektra sastava i mikrostrukture, korišćen je veliki broj sredstava za nagrizanje. Nital (2 mL HNO₃ i 98 mL etanol) je korišćen za otkrivanje martenzitne strukture; Vilella reagens (5 mL HCl, 1 gram pikrinske kiseline i 100 mL etanola) korišćen je za otkrivanje zrna martenzita. Mešane kiseline (jednaki delovi HCl, HNO₃ i sirćetne kiseline) su korišćene za otkrivanje granica zrna legure na bazi nikla. Mikrotvrdoća duž prelaznog područja je merena korišćenjem dijamantske piramide u kombinaciji sa opterećenjem od 10 i 100 grama.

2.4. Određivanje martenzit start temperature (T_{Ms}) trećeg prolaza

U ovom istraživanju, T_{MS} je izračunat pomoću empirijskih jednačina. Za metodu razređivanja korištena je Gooch-ova jednačina (Jedn.1) [9]. Ova jednačina se obično koristi za martenzitne nerđajuće čelike. Međutim, za metodu rafinacije zrna; korišćena je Li -ova jednačina (jednačina 2) [10]. Ova jednačina uzima u obzir efekte hemijskog sastava i veličine zrna austenita na martenzit start temperaturu.

Tipični EDX detektor je korišćen za merenje hemijskog sastava 3. prolaza. Ali ovaj detektor može da otkrije ograničen opseg energije rendgenskih zraka tako da se laki elementi (Z <10), kao što je ugljenik, azot ne mogu precizno meriti. Kako bi se prevazišao ovaj problem; u ovom radu; procenjeni potpuni hemijski sastav je određen korišćenjem povratne metodologije izračunavanja kako sledi:

1. Glavni legirajući elementi kao što su Fe, Ni i Cr određeni su EDX analizom. Zatim su nivoi razređenja glavnih elemenata izračunati korišćenjem jed. 3 [6].



Where D is the dilution, C_w , C_f and C_b are the concentration of each element in weld metal, filler metal, and base metal respectively.

2. Average dilution level (D_{av}) of the major alloying elements was determined.

3. Eq.4 was used to calculate the concentrations of other alloying elements.

$$C_w = [(C_b - C_f) * D_{av}] + C_f$$

3. Results and discussion

3.1. Effect of T_{Ms} value on type II grain boundary conditions

It is accepted that grain boundary type II worked as a weak line which easy cracked [11, 12]. In the present work martensitic transformation which formed in 3rd pass was used to produce compressive stresses on 2nd pass, hence tensile stresses were reduced and cracks were prevented. Because of elastic modulus increase with decreasing of metal temperature; the amount of compressive stresses generated from martensitic transformation increased with decreasing of T_{Ms} [13, 14].

Because of quantitative measurements of stresses at type II grain boundary are hard to conduct, a qualitative method was used to give an indication about stress level. This technique was proceeded by observing any cracks near the fusion boundary i.e. observation of cracks means high tensile stresses. Thus an approach of the relation between T_{Ms} values of the 3rd pass and stresses level at fusion boundary was built. Depending on this methodology effective levels of T_{Ms} were approximately determined as the following:

a) Case I of Dilution Method: As shown in Table 1; heat input was about 1.2 KJ/mm which gave 6.5% average dilution. Mechanical properties are shown in Table 2, 3 and 4, where unaccepted results of side bend test and notch impact toughness are noted. Table5 shows that T_{Ms} for the fusion zone of the 3rd pass equaled to 354°C. Fig2 reveals the cracks along type II boundary. This means that at 354°C; the created compressive stresses were not sufficient to overcome the tensile stresses, hence crack was occurred.

b) Case II of Dilution Method: As shown in Table 1; heat input was about 1.4 KJ/mm which gave 13.5% average dilution. Mechanical properties are shown in Tables 2, 3 and 4. As shown in Table5, T_{Ms} for the fusion zone of the 3rd pass equaled to 197°C. Fig.3 shows type II grain boundary appeared without any interfacial cracks. This means that at 197°C, the created compressive stresses were sufficient to overcome the most of

gde je D razblaženje, C_w , C_f i C_b su koncentracije svakog elementa u metalu šava, dodatnom materijalu i osnovnom materijalu.

2. Određen je prosečan nivo razređivanja (D_{av}) glavnih legirajućih elemenata.

3. Jedn. 4 je korišćena za izračunavanje koncentracija drugih legirajućih elemenata.

$$(Eq. 4)$$

Rezultati i diskusija

3.1. Uticaj vrednosti T_{Ms} na uslove granice zrna tipa II

Prihvaćeno je da je granica zrna tipa II radila kao slaba linija koja lako puca [11, 12]. U sadašnjem radu korišćena je martenzitna transformacija nastala u 3. prolazu da bi se proizvele pritiska naprezanja na 2. prolazu, pa su smanjeni zatezni naponi i sprečene su prsline. Zbog toga što se modul elastičnosti povećava sa smanjenjem temperature metala; količina pritiskih napona stvorena martenzitnom transformacijom, povećana je sa smanjenjem T_{Ms} [13, 14]

Zato što je kvantitativno merenje naprezanja na granici zrna tipa II teško sprovesti, upotrebljena je kvalitativna metoda da se dobije indikacija o nivou napona. Ova tehnika je nastavljena posmatranjem bilo kakvih prsline u blizini granice stapanja, tj. posmatranje prsline znači visoka zatezna naprezanja. Tako je izgrađen pristup odnosu između vrednosti T_{Ms} trećeg prolaza i nivoa naprezanja na granici stapanja. U zavisnosti od ove metodologije, efektivni nivoi T_{Ms} su približno određeni na sledeći način:

a) Slučaj I metode razređivanja: Kao što je prikazano u tabeli 1; unos toplote je bio oko 1,2 KJ / mm, što je dalo prosečno razređenje od 6,5%. Mehaničke osobine su prikazane u tabelama 2, 3 i 4, gde su zabeleženi neprihvactljivi rezultati ispitivanja bočnog savijanja i udarne žilavosti. Tabela 5 pokazuje da T_{Ms} za zonu stapanja trećeg prolaza iznosi 354°C. Slika 2 otkriva prsline duž granice tipa II. To znači da na 354°C; stvorena pritiska naprezanja nisu bila dovoljna za prevazilaženje naprezanja na istezanje, pa je došlo do pucanja.

b) Slučaj II metode razblaživanja: Kao što je prikazano u tabeli 1; unos toplote je bio oko 1.4 KJ / mm što je dalo 13.5% prosečnog razblaženja. Mehaničke osobine su prikazane u tabelama 2, 3 i 4. Kao što je prikazano u tabeli 5, T_{Ms} za zonu stapanja trećeg prolaza iznosio je 197°C. Na slici 3 prikazana je granica zrna tipa II bez ikakvih međupovršinskih prsline. To znači da su na 197°C stvorene pritiska naprezanja bila dovoljne za prevazilaženje većine zateznih naprezanja i



tensile stresses and cracks were prevented. This observation 3. reflects the resulted accepted side bend test and improved notch toughness (Table 3, and 4 respectively).

sprečene su prsline. Ovo zapažanje odražava prihvaćeni test bočnog savijanja i poboljšanu udarnu žilavost (Tabela 3 i 4).

Method		Ultimate Tensile Stress (N/mm ²) Zatezna čvrstoća	Failure Location Mesto preloma	Comment Komentar
Dilution Razređenje	Case I	641	W.M/ metal šava	Acceptable
		669	W.M	Acceptable/ prihvatljivo
	Case II	645.33	W.M	Acceptable
		656.6	W.M	Acceptable
	Case III	649.74	W.M	Acceptable
		669.34	W.M	Acceptable
Grain Refining Rafinacija zrna		668.36	W.M	Acceptable
		664.44	W.M	Acceptable

Table 2. Tensile test results in as weld conditions

Tabela 2. Rezultati ispitivanja zatezanjem u uslovima zavarivanja

Specimen No. Epruveta br.	Dilution Method Metoda razređivanja			Grain Refining Method Metoda rafinacije zrna
	Case I Slučaj I	Case II	Case III	
1	Rejected Odbačen	Accepted Prihvaćen	Rejected	Accepted
2	Rejected	Accepted	Rejected	Accepted
3	Rejected	Accepted	Rejected	Accepted
4	Rejected	Accepted	Rejected	Accepted

Table 3. Guided side bend test results in as weld conditions

Tabela 2. Rezultati ispitivanja bočnog savijanja u uslovima zavarivanja

Position	WM			FL			FL+2			FL+5		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Dilution Method												
Case I												
Cap	69	60	94	110	50	65	140	115	125	118	117	106
Root	<u>10</u>	<u>12</u>	<u>10</u>	95	110	85	140	145	150	165	160	155
Case II												
Cap	64	55	89	105	45	60	135	110	120	113	112	101
Root	<u>19</u>	<u>23</u>	<u>23</u>	91	106	81	136	141	146	161	156	151
Case III												
Cap	52	43	77	93	33	48	123	98	108	101	100	89
Root	<u>2</u>	<u>11</u>	<u>13</u>	78	93	68	123	128	133	148	143	138
Grain Refining Method												
Cap	100	53	86	130	105	109	105	97	96	70	79	103
Root	<u>23</u>	<u>26</u>	<u>22</u>	92	90	76	127	143	141	150	148	144

Table 4. Notch impact toughness results (Joule) at 0°C for as welded conditions
Tabela 4. Rezultati ispitivanja udarne žilavosti (Džul) na 0°C u uslovima zavarivanja

*WM: weld metal/
metal šava

*FL: Fusion Line
Linija stapanja

*FL+2: Fusion Line+2mm *FL+5: Fusion Line +5mm
Linija stapanja

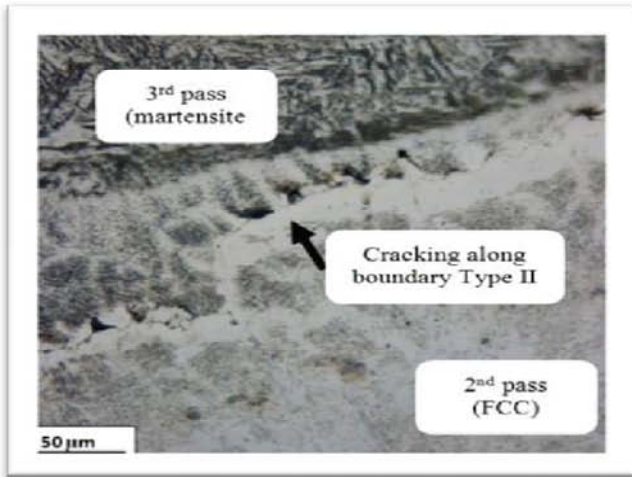


Fig.2 Case I of dilution method: Interfacial cracks are running along grain boundary type II.
Sl.2. Slučaj I metode razređenja: međufazne prsline se prostiru duž granica zrna tipa II

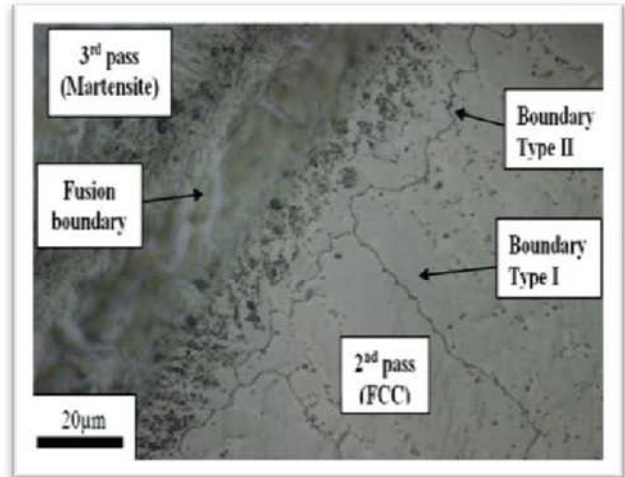


Fig. 3 Case II of dilution method: Grain boundary type II appeared without cracks
Sl. 3. Slučaj I metode razređenja: Granica zrna tipa II bez prsline

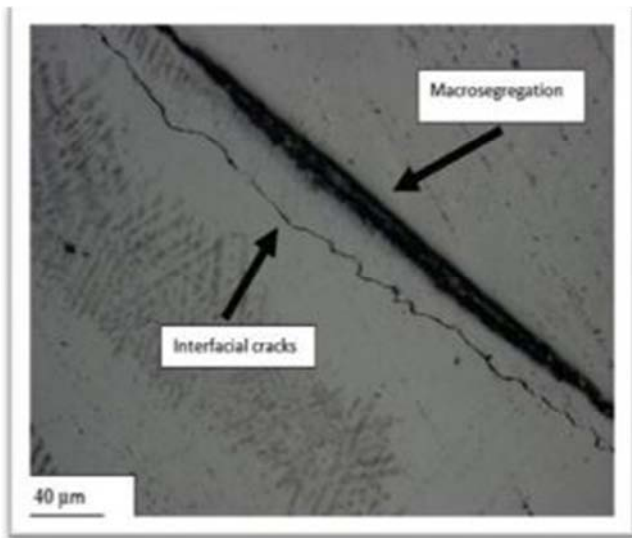


Fig. 4 Case III of dilution method: Parts from filler are forces inside the 2nd pass forming martensitic island inside with cracks
Sl.4. Slučaj III metode razređenja: Delovi dod. materijala su sile unutar 2.og prolaza koje stvaraju ostrva martenzita sa prslinama

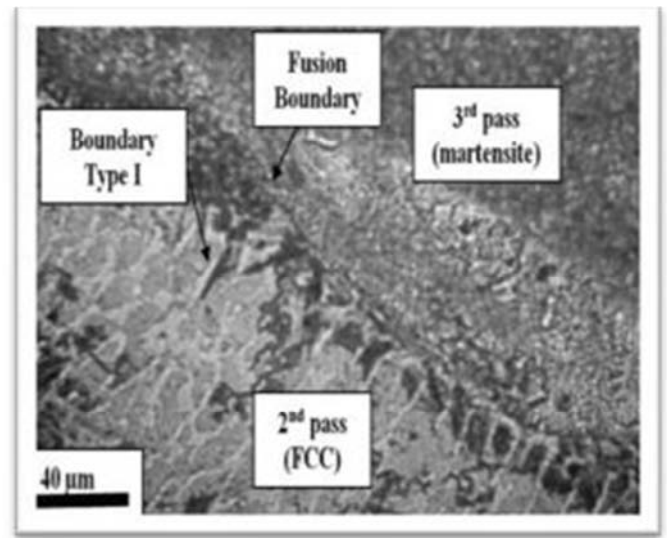


Fig.5 Case III of dilution method: Type II boundary disappeared and cellular structure continued until fusion boundary
Sl. 5. Slučaj III metode razređivanja: Tip II granica je nestala i ćelijska struktura nastavlja do granice stapanja

c) Case III of Dilution Method: As shown in Table 1; heat input was about 2 KJ/mm; giving 20.22% average dilution. This heat input is considered relatively high heat. Mechanical properties are shown in Table 2, 3 and 4, where unaccepted results of side bend and notch impact toughness tests are noted. Fig.4 reveals microstructure near fusion boundary where planar solidification region and type II grain boundary are not found i.e. cellular structure continued until fusion boundary. Depending on Nelson et al. work [15, 16], the tensile stress which worked as a driving force for type II boundary formation, was nil. Table 5 shows that T_{Ms} for fusion zone of the 3rd pass was 48 °C.

c) Slučaj III metode razblaživanja: Kao što je prikazano u tabeli 1; unos toplote je bio oko 2 KJ/mm; dajući 20.22% prosečnog razblaženja. Ovaj unos toplote se smatra relativno visokom toplotom. Mehaničke osobine su prikazane u tabelama 2, 3 i 4, gde su zabeleženi neprihvatljivi rezultati ispitivanja bočnog savijanja i udarne žilavosti. Slika 4 otkriva mikrostrukturu blizu granice stapanja, gde nije pronađena ravanska oblast očvršćavanja i granica zrna tipa II, tj. ćelijska struktura se nastavlja sve do granice stapanja. U zavisnosti od rada Nelsona i dr. [15, 16], zatezni napon koji je služio kao pogonska sila za formiranje granica tipa II, bio je nula. Tabela 5 pokazuje da su T_{Ms} za zonu



Based on these results, it can be concluded that: at T_{MS} equal or lower than $48^{\circ}C$ the generated compressive stresses at fusion boundary were sufficient to overcome all tensile stresses so type II boundary itself disappeared.

stapanja trećeg prolaza $48^{\circ}C$. Na osnovu ovih rezultata može se zaključiti da: kod T_{MS} -a jednakih ili nižih od $48^{\circ}C$ stvorena pritiska naprezanja na granici stapanja su bila dovoljna da se prevladaju sva zatezna naprezanja pa je i sama granica tipa II nestala.

Element (%)	Base Metal X65	Filler Metals			Dilution Method				Grain Refined Method
		AWS A5.1 E7018	AWS A5.14-ERNiCrMo3	E70T-4	Case I	Case II	Case III		
							WM	Islands	
Ni	0.011	0.03	64.6	0.02	3.02	6.32	9.46	3.94	4.72
Cr	0.011	0.00	21.7	0.00	1.12	2.29	3.42	1.46	1.74
Fe	Bal	Bal	0.6	Bal	93.44	88.28	83.32	91.95	89.94
Mo	0.228	0.15	8.9	0.00	0.47	0.97	1.46	0.6	0.73
Nb	0.008	0.00	3.5	0.00	0.21	0.43	0.65	0.27	0.32
C	0.007	0.07	0.08	0.23	0.07	0.07	0.08	0.07	0.22
Mn	1.4	1.05	0.00	0.5	1.02	1.00	0.97	1.02	0.52
Si	0.22	0.55	0.1	0.28	0.55	0.54	0.54	0.55	0.30
P	0.01	0.016	0.00	0.011	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03
S	0.005	0.01	0.00	0.003	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Al	0.008	0.01	0.00	1.5	0.02	0.04	0.06	0.03	1.38
Ti	0.1	0.001	0.00	0.01	0.02	0.04	0.06	0.03	0.04
Co	0.00	0.00	1.00	0.00	0.05	0.11	0.16	0.07	0.08
$T_{MS}^{\circ}C$					354	197	48	310	56

Table 5. Chemical analyses of base metal, filler metal and estimated chemical analyses and T_{MS} of the weld metal
Tabela 5. Hemijski sastav osnovnog i dodatnog materijala i procenjene hemijske analize i T_{MS} metala šava

However a plan view of 2nd pass is illustrated in Fig.5, where parts from filler metal are observed. Parts from filler metals were forced inside the 2nd inconel pass and solidified giving martensitic islands. Microhardness of these regions was ranged from 497 to 522 HV. These results are supported by SEM and EDX analyses in Fig.6 where iron percentage was about 92%. These islands were obtained as a result of using high welding current [17, 18]. As shown in Fig.7 cracked type II boundary is observed parallel to these filler metal islands. Table5, T_{MS} of martensitic islands within 2nd pass is $310^{\circ}C$. This means that: at $310^{\circ}C$ compressive stresses were very low compared with tensile stresses so cracking occurred.

Although type II boundary near fusion boundary were prevented, formation of filler metal martensitic islands with cracks within 2nd inconel pass led to poor impact toughness and unaccepted side bend results. These results are given in Table3 and Table 4 respectively.

Međutim, planski pogled na 2. prolaz je ilustrovan na slici 5, gde se posmatraju delovi dodatnog materijala. Delovi dodatnog materijala bili su prisiljeni da uđu u prolaz 2. od inkonela i očvrstu stvarajući martenzitna ostrva. Mikrotvrdoća ovih regiona kretala se od 497 do 522 HV. Ovi rezultati su podržani SEM i EDX analizama na slici 6, gde je procenat železa bio oko 92%. Ova ostrva su dobijena korišćenjem visoke struje zavarivanja [17, 18]. Kao što je prikazano na slici 7, granica tipa II sa prslinama se posmatra paralelno sa ovim ostrvcima dodatnog materijala. Tabela 5, T_{MS} na martenzitskim ostrvima unutar 2. prolaza je $310^{\circ}C$. To znači da su pri $310^{\circ}C$ pritiska naprezanja bila vrlo niska u poređenju sa zateznim naprezanjima pa je došlo do pucanja.

Iako su granice tipa II u blizini granice stapanja bile sprečene, formiranje martenzitnih ostrva od dodatnog materijala sa prslinama u prolazu 2. od inkonela dovelo je do loše udarne žilavosti i neprihvatljivih rezultata bočnog savijanja. Ovi rezultati su dati u Tabeli 3 i Tabeli 4.

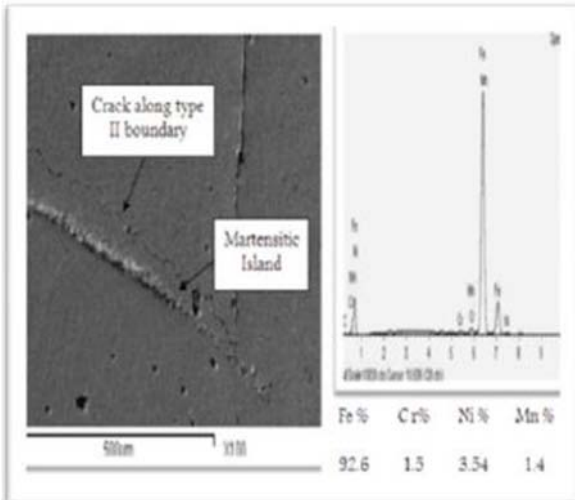


Fig.6 Case III of dilution method - SEM and EDX for filler metal islands within the 2nd inconel pass

SI. 6. Slučaj III metode razređenja- SEM i EDX za ostvca dodatnog materijala unutar 2. Prolaza od inkonela

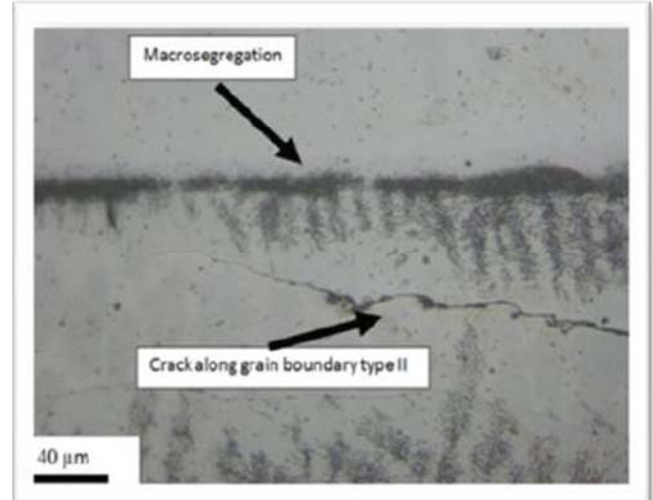


Fig.7 Case III of dilution method-cracked type II boundary parallel to filler metal islands within the 2nd inconel pass

SI. 7. Slučaj III metode razređenja- Tip II granice sa prslinama paralelna sa ostrvima dodatnog materijala unutar 2. prolaza od inkonela

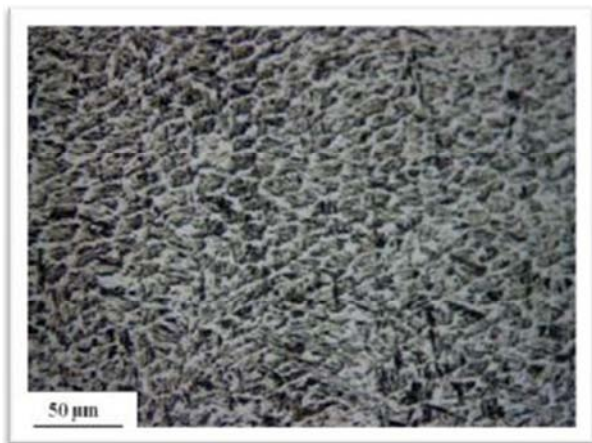


Fig.8 Grain Refined Method - Prior austenite grains of 3rd pass; etched with Vilella's reagent

SI.8. Metoda rafinacije zrna – prethodna austenitna zrna 3. eg prolaza; nagrizeno Vilela reagensom

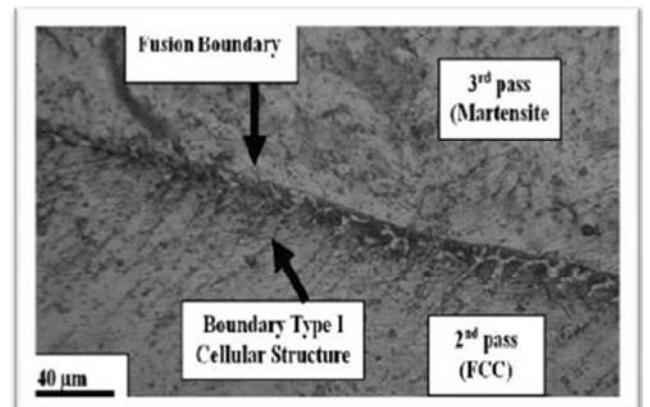


Fig.9 Grain refining method: Type II boundary disappeared and cellular structure continued until fusion boundary

SI. 9. Slučaj III metode razređenja- Granica tipa II je nestala i ćelijska struktura se nastavila do granice stapanja

d) Grain Refining Method: The effect of austenitic grain size on T_{Ms} was studied by several researchers [19- 21]. One argument is that a refinement of the austenite grain size leads to the Hall–Petch strengthening of austenite, thereby making it difficult for martensite to form [22]. Grain refinement of the 3rd pass was achieved by using E70T-4 which acted as a source of aluminium oxide and aluminium nitride. Aluminium nitrides and aluminium oxides which may be considered as non-metallic inclusions and impair mechanical properties were used here as nucleation sites causing grain refining. Fig. 8 shows the prior austenite grains of the 3rd pass which is martensite. Grain size was measured using Method –ASTM E112 giving intercept ASTM grain size

d) Metoda rafinacije zrna: Uticaj veličine austenitnih zrna na T_{Ms} ispitalo je nekoliko istraživača [19-21]. Jedan argument je da rafinacija veličine zrna austenita dovodi do Hall-Petchovog ojačavanja austenita, što otežava formiranje martenzita [22]. Rafinacija zrna trećeg prolaza postignuto je korišćenjem E70T-4 koji je služio kao izvor aluminijum oksida i aluminijum nitrida. Aluminijum-nitridi i aluminijum-oksidi koji se mogu smatrati nemetalnim uključcima i umanjuju mehanička svojstva su ovde korišćeni kao mesta nukleacije, što dovodi do rafinacije zrna. Slika 8 prikazuje prethodna austenitna zrna 3. prolaza koji je martenzit. Veličina zrna je merena korišćenjem metode presretanja - ASTM E112 koji govori da je ASTM broj zrna jednak 12. Kao što je prikazano u tabeli 5, T_{Ms} trećeg prolaza je 56°C, koji je izračunat pomoću Lee-ove



number equals to 12 .

As shown in Table 5, T_{Ms} of the 3rd pass is 56°C , which was calculated using Lee equation. Fig. 9 shows that planer solidification region and type II grain boundary are disappeared where cellular structure is continued until fusion boundary. This means that: at 56°C compressive stresses created at fusion boundary were sufficient to overcome all tensile stresses so type II boundary itself disappeared. Preventing formation of type II boundary was reflected on mechanical properties of weld metal, where accepted side bend test results and improved notch toughness ($23 \text{ Joule } 0^{\circ}\text{C}$) are noted in Table 3 and Table 4 respectively.

3.2. Effect of Post Weld Heat Treatment

It well known that the accepted notch toughness of carbon steel at 0°C is 27 Joule [22]. However, in as welded conditions, unaccepted notch toughness at 0°C was resulted as shown in Table 2. Thus in order to obtain accepted notch toughness, tempering was necessary. Tempering was proceeded at 720°C for 3hr holding time. Based on the results taken from as welded conditions, tempering was applied only for crack free cases (case II of dilution method and grain refining method). The results of mechanical properties are represented in Table 6.

Fig. 10a and Fig. 11a give a plan view for fusion boundary between 2nd and 3rd pass for case II dilution and grain refined methods respectively. Tempered martensite was noted in the 3rd pass and dark etched region was found at the interface Fig. 10b and Fig. 11b where highly localized hardness peak was noted.

jednačine. Na slici 9 je vidljivo da ravanska oblast očvršćavanja i granica zrna tipa II nestaju tamo gde se čelijska struktura nastavlja do granice stapanja. To znači da su pri 56°C , pritiska napreznja stvorena na granici stapanja, bila dovoljna da se prevladaju sva zatezna napreznja pa je i sama granica tipa II nestala. Sprečavanje formiranja granice tipa II odrazilo se na mehaničke osobine metala šava, gde su prihvatljivi rezultati ispitivanja bočnim savijanjem i poboljšana udarna žilavost ($23 \text{ džula } 0^{\circ}\text{C}$) navedeni u Tabeli 3 i Tabeli 4, respektivno.

3.2. Uticaj termičke obrade posle zavarivanja

Dobro je poznato da je prihvatljiva žilavost ugljeničnog čelika na 0°C od 27 J [22]. Međutim, u uslovima zavarivanja, dobijena je neprihvatljiva udarna žilavost na 0°C , kao što je prikazano u Tabeli 2. Tako je, da bi se dobila prihvatljiva žilavost, bilo potrebno otpuštanje. Otpuštanje je sprovedeno na 720°C tokom 3 sata. Na osnovu rezultata dobijenih iz zavarenih uslova, otpuštanje je primenjeno samo za slučajeve bez prslina (slučaj II metoda razblaživanja i metoda rafinacije zrna). Rezultati mehaničkih svojstava prikazani su u tabeli 6.

Slika 10a i Sl.11a daju prikaz granice stapanja između 2. i 3. prolaza za metode II razređivanja i metode rafinacije zrna. U trećem prolazu zabeležen je otpušteni martenzit, a na međupovršini sl.10b i sl.11b nađen je tamno nagrižen region gde je zabeležen lokalizovani visoki pik tvrdoće.

<i>Method</i>	<i>Ultimate Unit Stress Zatezna čvrstoća (N/mm²)</i>	<i>Side strana Bend Savijanje</i>	<i>Impact Toughness at Root (including interface between 2nd and 3rd Pass) (Joule at 0°C) Udarne žilavost u korenu (uključujući međupovršinu između 2, i 3, sloja) (Džul na 0°C)</i>
As welded condition Uslovi zavarivanja			
<i>Increased Dilution Povećano ratređenje</i>	654	<i>Accepted Prihvatljivo</i>	22
<i>Grain Refining Rafinacija zrna</i>	680	<i>Accepted Prihvatljivo</i>	23
As tempered condition Uslovi otpuštanja			
<i>Increased Dilution Povećano ratređenje</i>	649	<i>Accepted Prihvatljivo</i>	43
<i>Grain Refining Rafinacija zrna</i>	663	<i>Accepted Prihvatljivo</i>	30

Table 6. Average results of mechanical properties for increased dilution case II and grain refined methods in as weld and tempered conditions

Tabela 6. Srednje vrednosti mehaničkih osobina kod slučaja II povećanog razređivanja i metode rafinisanog zrna u uslovima zavarivanja i otpuštanja



As documented in literatures [23-26], this dark layer was enriched carbide layer which formed due to carbon migration from ferrite side to austenite side. This layer was clearly observed in grain refining method than dilution method due to difference of carbon content (0.22% and 0.07% respectively). The effect of this layer on notch toughness is also noted in **Table 6**. For case II of dilution method; notch toughness increased from 22 to 43Joule (as welded and tempered condition respectively). However for grain refining method notch toughness increased only from 23 to 30Joule (as welded and tempered condition respectively).

Kao što je dokumentovano u literaturi [23-26], ovaj tamni sloj je obogaćen karbidnim slojem koji je nastao usled migracije ugljenika sa feritne na austenitnu stranu. Ovaj sloj je jasnije uočen metodom rafinacije zrna nego metodom razređivanja zbog razlike u sadržaju ugljenika (0,22% i 0,07%). Efekat ovog sloja na žilavost je takođe naveden u tabeli 6. Za slučaj II metode razblaživanja; žilavost je povećana sa 22 na 43 J (kao zavareni i otpušteni uslovi). Međutim, za metode rafinacije, udarna žilavost povećala se samo sa 23 na 30 J (kao zavareni i otpušteni uslovi).

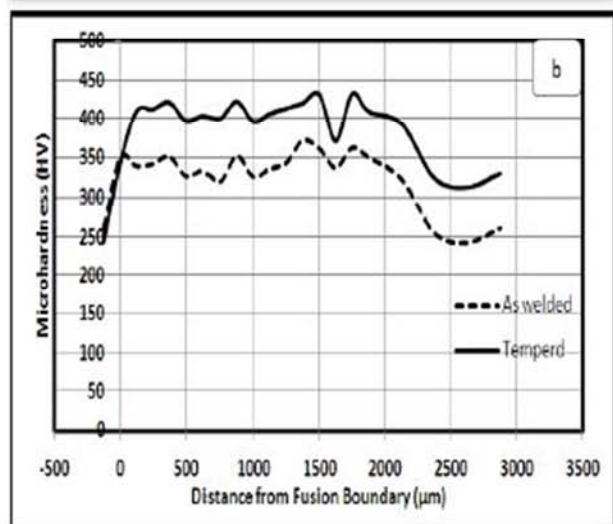
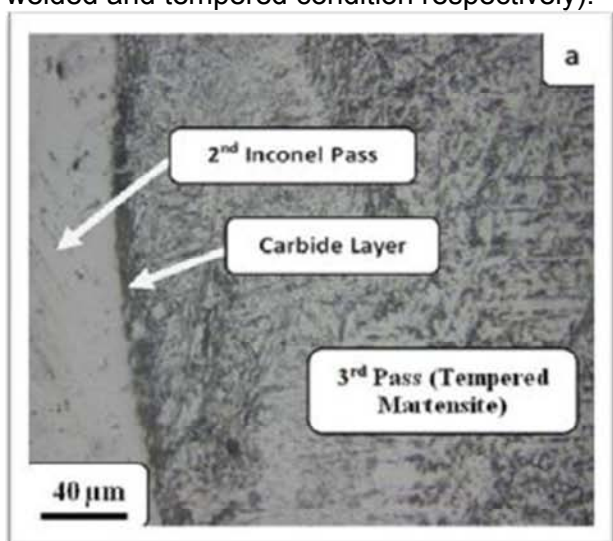


Fig. 10 Case II of Dilution Method
a)- Microstructure b)- Microhardness
Sl. 10. Slučaj II metode razređivanja
a)- Mikrostruktura b)- Mikrotvrdoća

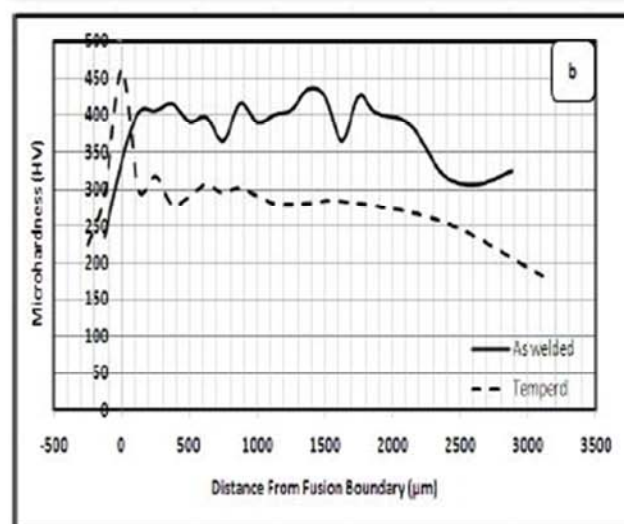
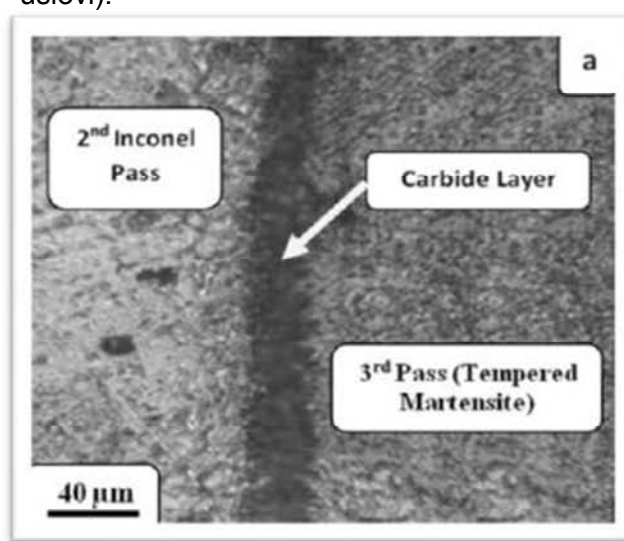


Fig. 11 Grain Refining Method
a)- Microstructure b)- Microhardness
Sl.11. Metoda rafinacije zrna
a)- Mikrostruktura b)- Mikrotvrdoća

4. Conclusions

Based on the results and discussion presented in this investigation, T_{Ms} of the 3rd pass was considered the controlling factor that determines the conditions of stresses at type II boundary. Three levels of T_{Ms} of the 3rd pass can be obtained:

4. Zaključci

Na osnovu rezultata i diskusije prikazane u ovom istraživanju, T_{Ms} trećeg prolaza se smatra kontrolnim faktorom koji određuje uslove naprežanja na granici tipa II. Moguće je dobiti tri nivoa T_{Ms} trećeg prolaza:



1- At $T_{Ms} \geq 300^{\circ}\text{C}$, lower compressive stresses are generated from martensitic transformation in the 3rd pass. So high tensile stresses are residue causing cracking along type II boundary.

2- At $T_{Ms} \approx 200^{\circ}\text{C}$, relatively high compressive stresses are generated from martensitic transformation in the 3rd pass. The net stresses which resulted at fusion boundary are tensile but with low magnitude value. These low tensile stresses work as a driving force for type II boundary formation and are not sufficient to cause cracking.

3- At $T_{Ms} \approx 50^{\circ}\text{C}$, high compressive stresses are generated from martensitic transformation in the 3rd pass. In this case, all tensile stresses are compensated. Therefore the driving force for formation of type II boundary is nil hence, type II boundary itself is not created.

4- PWHT is necessary to achieve accepted impact strength (i.e. higher than 27Joule at 0°C). Thus mechanical properties are accepted only when cracks are inhabited and PWHT is applied.

1- Pri $T_{Ms} \geq 300^{\circ}\text{C}$, manja pritisna naprezanja se generišu od martenzitne transformacije u 3. prolazu. Tako zaostala visoka zatezna naprezanja izazivaju pucanje duž granice tipa II.

2 - Pri $T_{Ms} \approx 200^{\circ}\text{C}$, relativno visoka pritisna naprezanja nastaju od martenzitne transformacije u 3. prolazu. Mreža naprezanja koja su rezultovala na granici stapanja su zatezna, ali sa malom veličinom. Ova niska zatezna naprezanja funkcionišu kao pokretačka sila za formiranje granica tipa II i nisu dovoljna da izazovu pucanje.

3 – Pri $T_{Ms} \approx 50^{\circ}\text{C}$, visoka pritisna naprezanja se generišu iz martenzitne transformacije u 3. prolazu. U ovom slučaju, sva zatezna naprezanja se kompenziraju. Stoga je pogonska sila za formiranje granice tipa II nula, te tako ni sama granica tipa II, nije stvorena.

4 – PWHT(Termička obrada posle zavarivanja) je neophodna da bi se postigla prihvatljiva udarna žilavost (tj. veća od 27 J na 0°C). Tako se mehanička svojstva prihvataju samo kada su prsline izbegnute i primenjuje se PWHT.

References

Literatura

- [1] Inker, Lng. "International Course of Welding Engineer, part 1: Welding process and equipment". Institute in the Germany Welding Society.P398.(2003).
- [2] ASM Handbook Committee. "Effect of Transformations on Transient Weld Stresses, Section: Fundamentals of Welding; Volume 6 of Welding, Brazing, and Soldering". Electronic copy of ASM Handbook. (1999).
- [3] Payares-Asprino, M., Katsumoto, H, and Liu, S. "Effect of Martensite Start and Finish Temperature on Residual Stress Development in Structural Steel Welds" Welding Journal, Vol. 87. P279- 289. (2008).
- [4] Henrik Alberg., "Simulation of Welding and Heat Treatment Modelling and Validation". Ph.D, Division of Computer Aided Design Department of Applied Physics and Mechanical Engineering; Lulea University of Technology. Sweden. (2005).
- [5]Jae Lee and Chester J. Van Tyne." Kinetics Model for Martensite Transformation in Plain Carbon and Low-Alloyed Steels". Volume 43A of Metallurgical and Materials Transactions. P422-427. (2010).
- [6]Seok-Jae Lee and Young-Kook Lee." Finite Element Simulation of Quench Distortion in a Low-Alloy Steel Incorporating Transformation Kinetics".Elsevier Ltd. Acta Materialia 56 (2008). P 1482–1490. (2007).
- [7]Capdevila, C., Caballero, F. García de Andrés, C."Dependence of Martensite Start Temperature on Fine Austenite Grain Size". Madrid, Spain. Material Research Group; Department of Physical Metallurgy. <http://www.cenim.csic.es> (accessed at 3/12/2012).
- [8]ASM Handbook Committee. "Selection of Wrought Martensitic Stainless Steels; Volume 6 of Welding, Brazing, and Soldering". Electronic copy of ASM Handbook. (1999).
- [9]Dupont, J. and Kusko, C. "Technical Note: Martensite Formation in Austenitic/Ferritic Dissimilar Alloy Welds". Welding Journal. P51-56. (2007).
- [10]Amir Malakizadi. "Simulation of Cooling Behavior and Microstructure Development of PM Steels". Diploma work No. 42/2010 Department of Materials and Manufacturing technology Chalmers University of Technology. Gothenburg, Sweden. Gothenburg. P9-10.(2010).



- [11] Abdullah, M., and Mohammed, A. "Environmental Cracking of Dissimilar Metal Welds". Saudi Aramco Journal of Technology. P1-2. (2008).
- [12] Rowe, M., Nelson, T. and Lippold, J. "Hydrogen-Induced Cracking along the Fusion Boundary of Dissimilar Metal Welds". Welding Journal Supplement, P31-37(1999).
- [13] Eslam Ranjbarnodeh and Mehdi Farajpour. "Evolution of Plastic Strains in Dissimilar Weld of Stainless Steel to Carbon Steel" Association of Metallurgical Engineers of Serbia (AMES). P23. (2011).
- [14] Sindhu Thomas. "Analysis of Low Transformation Temperature Welding (LTTW) Consumables-Distortion Control and Evolution of Residual Stresses". M.S., Faculty and Board of Trustees of the Colorado School of Mines. P13-15. (2013).
- [15] Nelson, T., Lippold, J. and Mills, M. "Nature and Evolution of the Fusion Boundary in Ferritic-Austenitic Dissimilar Weld Metals; Part 1: Nucleation and Growth". Welding Journal Supplement. P329-337. (1999).
- [16] Nelson, T., Lippold, J. and Mills, M. "Nature and Evolution of the Fusion Boundary in Ferritic-Austenitic Dissimilar Weld Metals; Part 2: On-Cooling Transformations" .Welding Journal Supplement. P267-277. (2000).
- [17] Kou, S. and Yang, K. "Mechanisms of Macroseggregation Formation near Fusion Boundary in Welds Made with Dissimilar Filler Metals". Welding Journal Vol.86. P308. (2007).
- [18] Kou, S. and Yang, K. "Fusion-Boundary Macroseggregation in Dissimilar-Filler Welds". ASM International, Materials Park, Ohio, USA. P.329-340. (2007).
- [19] Seok-Jae Lee and Young-Kook Lee. "Effect of Austenite Grain Size on Martensitic Transformation of a Low Alloy Steel". Trans Tech Publications Ltd, Switzerland, Materials Science Forum Vols. 475-479 .P. 3169-3172. (2005).
- [20] Hong-Seok Yang and Bhadeshia, H. "Austenite Grain Size and the Martensite-Start Temperature". Scripta Materialia 60. P493-495. (2009).
- [21] Prawotoy, Y., Jasmawati, N. and Sumeru, K. "Effect of Prior Austenite Grain Size on the Morphology and Mechanical Properties of Martensite in Medium Carbon Steel". J. Mater. Sci. Technol., 28(5). P 461-466. (2011).
- [22] American Petroleum Institute. "API -5 L-2PSL specification for pipe line 44th edition" P10. (2008)
- [23] John, N. and Ronald, E. "Review of Dissimilar Metal Welding for the NGNP Helical-Coil Steam Generator". U.S. Department of Energy; Office of Nuclear Energy. Idaho National Laboratory. P9-19. (March 2010).
- [24] American Welding Committee. "Materials and Applications-Part2; Volume 4 of welding handbook, Eighth edition". American Welding Society. P354-355. (2003).
- [25] Anand, R., Sudha, C., Thomas Paul, V., SAROJA, S. and Vijayalakshmi, M. "Microstructural Changes in Grade 22 Ferritic Steel Clad Successively with Ni-Based and 9Cr Filler Metals". Welding Journal; Vol. 89. P56-74. (2010).
- [26] Anand, R., Sudha, C., Saroja, S., Terrance, A L E. and Vijayalakshmi, M. "Simulation of Carbon Diffusion Profile in Dissimilar Weldment of Ferritic Steels using Diffusion (2008). Coefficients Evaluated by Den Broeder's Method". Hradec nad Moravicí; METAL. P1-7.



Društvo za tehniku
zavarivanja Slavonski
Brod



Univerza v Mariboru
Fakulteta za strojništvo



Strojarski fakultet u
Slavenskom Brodu



The Faculty of Materials
Science and Technology
in Trnava



Veleučilište u
Slavenskom Brodu



Đuro Đaković Grupa
Slavenski Brod

PRVI POZIV

10. MEĐUNARODNO ZNANSTVENO-STRUČNO SAVJETOVANJE SBZ 2019

„STROJARSKE TEHNOLOGIJE U IZRADI ZAVARENIH KONSTRUKCIJA I PROIZVODA, SBZ 2019.“

SLAVONSKI BROD, 16. - 18. 10. 2019.

TEME:

Nove tehnologije i materijali
Postupci zavarivanja
Robotizacija i automatizacija
Posude pod tlakom
Zavarivanju srodne tehnike
Izrada zavarenih konstrukcija
Kontrola kvalitete zavarenih proizvoda
Pouzdanost i sigurnost
zavarenih proizvoda i konstrukcija
Zavarljivost materijala
Dodatni materijali za zavarivanje
Oprema za zavarivanje i srodne postupke
Kadrovi i obrazovanje u zavarivanju
Metalurgija
Ekologija i zaštita na radu
Ekonomski aspekti u zavarivanju



DATUM I MJESTO ODRŽAVANJA

Savjetovanje će se održati u kazališno-koncertnoj dvorani Ivana Brlić Mažuranić i Đuri Đaković u Slavenskom Brodu, 16. do 18. 10. 2019.

VAŽNI DATUMI

15. travanj 2019. Prijava sažetaka
15. svibanj 2019. Obavijest o prihvaćanju sažetaka
01. srpanj 2019. Krajnji rok za slanje radova
15. listopad 2019. Krajnji rok za prijavu sudionika

Najnovije informacije o skupu možete pronaći na:

<http://www.sfsb.hr/dtzb/>

Smještaj: Turistička zajednica Slav. Broda:

<http://www.tzgsb.hr>

KONTAKT

DTZ Slavenski Brod
Strojarski fakultet u Slavenskom Brodu
Trg I. B. Mažuranić 2,
35 000 SLAVONSKI BROD
E-mail: dtzsb@sfsb.hr

Miroslav Duspara
Tel. 035 493 412,
miroslav.duspara@sfsb.hr

Božo Despotović
Tel. +385989836753
despotovic.bozo@gmail.com

RIJEČ ORGANIZATORA

Poštovane Kolegice i Kolege

U ime Organizacijskog odbora, pozivamo Vas na 10. MEĐUNARODNO ZNANSTVENO-STRUČNO SAVJETOVANJE, SBZ 2019 „STROJARSKE TEHNOLOGIJE U IZRADI ZAVARENIH KONSTRUKCIJA I PROIZVODA, SBZ 2019“

Tijekom proteklih devet susreta ovaj skup je okupljao brojne stručnjake i znanstvenike koji su svojim doprinosom prezentirali i promovirali novitete u zavarivačkoj struci, stoga i ovaj puta organizatori pozivaju sve koji mogu dati svoj doprinos na području tehnologije zavarivanja i ostalih tehnologija kao što su obrada odvajanjem čestica, deformiranje, toplinska obrada, automatizacije i robotizacije u proizvodnji zavarenih konstrukcija i sve ostale koji mogu na bilo koji drugi način dati svoj doprinos u razvoju zavarivačke djelatnosti da prezentiraju svoja znanstvena i stručna saznanja i iskustva.

I ove godine uz izložbu uređaja, dodatnih materijala i opreme za zavarivanje, svi prezentirani radovi bit će objavljeni u Zborniku. Svim dosadašnjim i budućim sudionicima skupa želimo dobrodošlicu u Slavenskom Brodu.

Prof.dr.sc. Ivan Samardžić, dipl.ing. IWE
Božo Despotović, dipl.ing. IWE



PRIJAVA RADOVA I SUDJELOVANJA

Organizacijski odbor poziva autore da prijave naslov rada i sažetak najkasnije do 15. travnja 2019. godine.

Online prijava: <https://goo.gl/forms/QKyB4edMvic1637H3>

Ili:

Prijava sudjelovanja:	
Prijavljujemo slijedeće oblike sudjelovanja: <input type="checkbox"/> glavni sponzor <input type="checkbox"/> sponzor <input type="checkbox"/> izlagač <input type="checkbox"/> sudionik <input type="checkbox"/> ostali oblik učešća: _____	Sudionik - Sudionici (prezime i ime):
	Sveučilište/ Institucija/Tvrtka:
	Adresa:
	Poštanski broj i grad:
	Država:
	Telefon:
	E-mail:
Molimo Vas da ispunjenu prijavu pošaljete organizacijskom odboru na e-mail: miroslav.duspara@sfsb.hr , despotovic.bozo@gmail.com	

Sažetke molimo dostaviti na posebnom listu.

<p><i>Svaki sudionik plaća kotizaciju u iznosu 1.500,00 kn za sudjelovanje u Programu savjetovanja. Ova kotizacija obuhvaća Zbornik, sudjelovanje na koktelu dobrodošlice, nazočnost na večeri i završnom okupljanju.</i></p> <p>Izražene cijene su bez PDV-a (nije potrebno platiti).</p>	
Uplate na žiro račun: HR2623400091110126058, OIB: 60913185790 Privredna banka Zagreb, MB 3370518 Uplate u €: HR26 2340 0091 1101 2605 8 PRIVREDNA BANKA ZAGREB d.d 10000 Zagreb, Račkoga 6, Croatia SWIFT CODE: PBZGHR2X	U skladu s Programom stručnog usavršavanja Hrvatske komore inženjera strojarstva, sudjelovanje u radu savjetovanja boduje se s određenim brojem bodova.



UPUTE ZA SAŽETKE

<p style="text-align: center;">NASLOV RADA (12PT BOLD Times New Roman)</p>
<p style="text-align: center;">NASLOV RADA NA ENGLISKOM JEZIKU (12PT BOLD Times New Roman)</p>
<p style="text-align: center;">Ime i prezime Autora (11PT bold Times New Roman)</p> <p style="text-align: center;">Adresa (11 PT Times New Roman)</p>
<p>Ključne riječi: Tekst: (11PT)</p>
<p>Key words: Tekst: (11PT)</p>
<p>Sažetak : Tekst: (11PT)</p>



¹Kurt Nachbargauer

OXY-FUEL CUTTING - AUTOMATION MAKES THE DIFFERENCE GASNO REZANJE- AUTOMATIZACIJA ČINI RAZLIKU

Stručni rad / Professional paper

Rad je u izvornom obliku objavljen u Zborniku sa 4. IIW Kongresa zavarivanja Jugoistočne Evrope „Safe Welded Construction by High Quality Welding“ održanog u Beogradu 10-13. Oktobra 2018

Rad primljen / Paper received:

Januar 2019.

Ključne reči: Zavarivanje, železnica, obrtno postolje, kliznica, Hatfieldov čelik

Adresa autora / Author's address:

¹IHT Automation, Bahnhofstrasse 63, 76532 Baden-Baden, Germany
kurt.nachbargauer@iht-automation.com

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

Key words: Welding, Railway, Rotating shassis, Slider, Hatfield Steel

Abstract

Like laser and water jet cutting, plasma cutting is today a highly automated process.

However, the situation is different when it comes to Oxy-Fuel cutting. Over the past few years it has become seemingly less attractive than the other cutting processes and there is a general reluctance to use it. Could the reason for this be perhaps, that the process is generally far less likely to be automated?

Each cutting method has the application for which it is best suited. Whereas laser is best for thin sheets, water jet is best for special materials where you need to avoid adding heat and plasma cutting is very good with stainless steel and for small contours. Oxy-Fuel is best suited for cutting carbon steel plate thicker than about 20mm and for cutting many identical parts.

The automation of plasma cutting systems has grown enormously over the last 10 years, mainly due to the innovative approach of the manufacturers of the plasma cutting systems.

Oxy-Fuel cutting is by far the oldest cutting method; everyone knows this. However, a lot of training is needed before you can become an Oxy-Fuel cutting expert and much experience gained over time is necessary to make the perfect cut every time. Oxy-Fuel cutting is in fact perhaps the most sophisticated cutting process.

The question is how can this knowledge be integrated into an automated system? Because automating the cutting process is surely the key to restore the attractiveness of Oxy-Fuel cutting. Personnel costs will be significantly reduced by adding automation and it will at the same time, increase production quality and safety. All these things have a major impact on overall productivity of the Oxy-Fuel cutting process.

Rezime

Kao i lasersko i vodeno rezanje, rezanje plazmom je danas visoko automatizovan process.

Međutim, situacija je drugačija kada se radi o gasnom rezanju. Tokom proteklih nekoliko godina ono je postalo naizgled manje atraktivno od ostalih procesa rezanja i postoji opšta nevoljnost da se ono koristi. Da li je možda razlog za to možda da je proces uopšteno daleko manje automatizovan?

Svaka metoda rezanja ima primenu za koju je najprikladnija. Dok je laser najbolji za tanke limove, vodeni mlaz je najbolji za specijalne materijale, gde treba izbegavati dodavanje toplote a rezanje plazmom je veoma dobro za nerđajuće čelike i za male konture. Gasno je najpogodnije za rezanje ploča od ugljeničnog čelika deblje od oko 20mm i za sečenje mnogih identičnih delova

Automatizacija sistema za rezanje plazmom je ogromno porasla u poslednjih 10 godina, uglavnom zahvaljujući inovativnom pristupu proizvođača sistema za rezanje plazmom

Rezanje kiseonikom je daleko najstariji metod rezanja; svi to znaju. Međutim, potrebno je mnogo treninga pre nego što postanete stručnjak za gasno rezanje i potrebno je mnogo iskustva stečenog tokom vremena da bi svaki put napravili savršen rez. Rezanje kiseonikom je možda najsofisticiraniji proces rezanja.

Pitanje je kako se to znanje može integrisati u automatski sistem? Zato što je automatizacija procesa rezanja svakako ključ za vraćanje atraktivnosti gasnog rezanja. Troškovi osoblja biće značajno smanjeni dodavanjem automatizacije i istovremeno će povećati kvalitet i sigurnost proizvodnje. Sve ove stvari imaju veliki uticaj na ukupnu produktivnost procesa gasnog rezanja.



1. Cutting Processes

When asked what are the differences between the four cutting processes used in sheet metal processing, answers often include cutting speed, the amount of manual rework that might be needed or sheet thickness. These are all correct and equally important. However, the most important difference is in how much of the cutting process has been automated. Looking at the four main steel cutting processes (laser, plasma, Oxy-Fuel and water jet), it is noticeable that the degree of automation differs considerably between the different processes. The laser process for example is highly automated, especially if the system has been supplied by one of the major manufacturers of such systems. This is because these companies have control of the entire process in their own hands. So, why is the plasma process so well automated? Basically, because it has to be, the generation of a stable plasma beam requires a lot of knowledge. This has led to the establishment of some renowned successful plasma cutting equipment suppliers who thrive on the innovating the plasma process. Water jet cutting, which has a high degree of automation, has its own special niche role in cutting steel, which will not be covered here. Now to the fourth cutting process, the Cinderella of the group. Oxy-Fuel cutting is already one hundred and fifty years old and many claim it is impossible to automate. It is the most complex process of all, but least automated. Why is this? Perhaps because Oxy-Fuel cutting is a mature, apparently simple technique, there are very few companies championing its cause? Some machine builders have attempted to automate the Oxy-Fuel cutting process but in most cases, the real cutting knowledge still lies with the system operator, i.e. the user. Another factor is the belief that as it is a supposedly simple process there is no training required for the cutting machine operator. But these experienced operators are retiring and the knowledge is being lost. There is still hope however because companies like GCE and IHT are investing heavily in the future of the Oxy-Fuel cutting process. There are other factors to consider, let's take the cutting cost per metre per cutting torch as an example (see Figure 1). Laser is unbeatable when cutting thin sheets. You get high-speed cutting, burr-free parts and low cutting costs. Plasma is unbeatable for sheet thicknesses from 15 to 35 mm, this is mainly due to the relatively high cutting speeds that can be achieved. Another advantage of plasma is the ability to cut different materials such as stainless steel or aluminium. The diagram in Figure 1 show that the investment cost not really a significant factor for the cutting costs.

1. Postupci rezanja

Na pitanje koje su razlike između četiri procesa rezanja koji se koriste u obradi lima, odgovori često uključuju brzinu rezanja, količinu ručne obrade koja bi mogla biti potrebna ili debljinu lima. Sve su one tačne i jednako važne. Međutim, najvažnija razlika je u tome koliko je proces rezanja bio automatizovan.

Gledajući četiri glavna procesa rezanja čelika (laser, plazma, gasno i vodeni mlaz), primetno je da se stepen automatizacije značajno razlikuje između različitih procesa.

Laserski proces je, na primer, visoko automatizovan, posebno ako je sistem isporučen od strane jednog od glavnih proizvođača takvih sistema. To je zato što ove kompanije imaju kontrolu nad celim procesom u svojim rukama.

Dakle, zašto je proces plazme tako dobro automatizovan? U osnovi, zato što stvaranje stabilnog plazma luka zahteva mnogo znanja. To je dovelo do osnivanja nekih poznatih dobavljača opreme za plazma rezanje koji napreduju u inoviranju plazma procesa.

Rezanje vodenim mlazom, koje ima visok stepen automatizacije, ima svoju posebnu ulogu u rezanju čelika, koje ovde neće biti obuhvaćeno.

Sada je četvrti proces rezanja, Pepeljuga grupe. Rezanje kiseonikom je prisutno već stotinu i pedeset godina i mnogi tvrde da ga je nemoguće automatizovati. To je najsloženiji proces od svih, ali najmanje automatizovan. Zašto je ovo? Možda zato što je gasno rezanje razvijena naizgled jednostavna tehnika, postoji vrlo malo kompanija koje zagovaraju njen cilj? Neki proizvođači mašina pokušali su da automatizuju proces gasnog rezanja ali u većini slučajeva, stvarno znanje o rezanju i dalje leži na operatoru sistema, tj. korisniku. Drugi faktor je verovanje da, pošto je to navodno jednostavan proces, ne postoji nikakva obuka za operatera mašine za sečenje. Ali ovi iskusni operateri se povlače i znanje se gubi. Ipak, postoji nada, jer kompanije kao što su GCE i IHT mnogo ulažu u budućnost procesa gasnog rezanja.

Postoje i drugi faktori koje treba uzeti u obzir, uzмимо na primer troškove rezanja po metru po plameniku za rezanje (rezaču) (vidi sliku 1). Laser je nepobediv prilikom rezanja tankih listova. Dobijate velike brzine rezanja, delove bez grubih ivica i niske troškove rezanja.

Plazma je nenadmašna za debljine ploča od 15 do 35 mm, uglavnom zbog relativno visokih brzina rezanja koje se mogu postići. Još jedna prednost plazme je sposobnost rezanja različitih materijala kao što su nerđajući čelik ili aluminijum. Dijagram na slici 1 pokazuje da investicioni troškovi zapravo nisu značajan faktor za smanjenje troškova. Na is



For example, laser has high investment costs, but the decisive factor is the cutting speed for very thin sheets.

primer, laser ima visoke investicione troškove, ali odlučujući faktor je brzina rezanja za vrlo tanke listove.

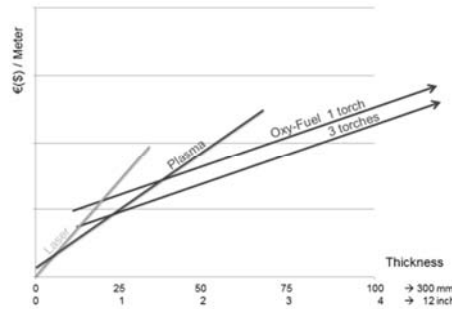


Figure 1 Cost per meter per torch
Slika 1. Troškovi po metru i po "rezaču"

So, what is here the situation when it comes to Oxy-Fuel? The Oxy-Fuel cutting process is perceived as being a slow one. Yes, that is right, but as the sheets gets thicker this disadvantage suddenly disappears, because the other processes will also cut at a lower speed. The biggest advantage of Oxy-Fuel is its low energy cost. The other processes also need gases, but Oxy-Fuel does not need as anywhere as near as much electricity! The profitability curves show that it is the most economical process for plate thicknesses of approx. 30 mm or greater. When more than one cutting torch is used, the economy increases dramatically. Of course, these figures only apply to carbon steel, but as that makes up more than 90% of the volume of steel cut, Oxy-Fuel becomes a very interesting process. As I have said, each cutting process has technical and economic advantages and disadvantages. If you look closely, Oxy-Fuel cutting has more advantages than is reflected in its current market position. Let me go into more detail on the automation of plasma and Oxy-Fuel cutting.

Automation of the Plasma process

Most important for a good plasma cut is the stabilisation of the plasma beam. Plasma manufacturers invest a great deal in developing innovative cutting torches and the control and regulation of gases. This automation is becoming increasingly complex to cover all materials and all possible cutting geometries, for example to cutting actual holes or preparing sheets for welding. The cutting speed and the distance between the torch and the work piece are important factors and should not be underestimated. These requires close communication between the plasma cutting system, the height control and the machine control. The interconnection of these three sub-systems is a great challenge. Here is an example (see Figure 2) that shows the changes in cutting speed for producing a circular hole. Does it have to be so complicated to cut a simple round hole?

Dakle, kakva je situacija kada je u pitanju gasno? Proces gasnog rezanja se smatra sporim. Da, to je tačno, ali kako listovi postaju deblji, ovaj nedostatak iznenada nestaje, jer će i drugi procesi smanjiti brzinu

Najveća prednost gasnog rezanja je niska cena energije. Drugim procesima su takođe potrebni gasovi, ali gasnom rezanju ne treba električna energija! Krive profitabilnosti pokazuju da je to najekonomičniji proces za debljine ploča od cca. 30 mm ili više. Kada se koristi više od jednog rezača, ekonomičnost se dramatično povećava.

Naravno, ove cifre se odnose samo na ugljenični čelik, ali pošto to čini više od 90% obima čelika, gasno rezanje postaje veoma zanimljiv proces. Kao što sam rekao, svaki proces rezanja ima tehničke i ekonomske prednosti i nedostatke. Ako bolje pogledate, gasno rezanje ima više prednosti nego što se odražava u trenutnoj tržišnoj poziciji.

Dozvolite mi da pređemo na više detalja o automatizaciji rezanja plazmom i gasno.

Automatizacija plazma postupka

Za dobro rezanje plazmom, najvažnija je stabilizacija snopa plazme. Proizvođači plazme mnogo ulažu u razvoj inovativnih plamenika za rezanje i kontrolu i regulaciju gasova. Ova automatizacija postaje sve kompleksnija za pokrivanje svih materijala i svih mogućih geometrija sečenja, na primer za rezanje stvarnih rupa ili za pripremu limova za zavarivanje. Brzina rezanja i udaljenost između gorionika i radnog komada su važni faktori i ne treba ih podcenjivati. Ovo zahteva blisku komunikaciju između sistema za rezanje plazmom, kontrole visine i kontrole mašine. Povezivanje ova tri podsistema je veliki izazov. Evo primera (vidi sliku 2) koji pokazuje promene brzine rezanja za proizvodnju kružnog otvora. Da li mora biti tako komplikovano da se izreže jednostavna okrugla rupa?

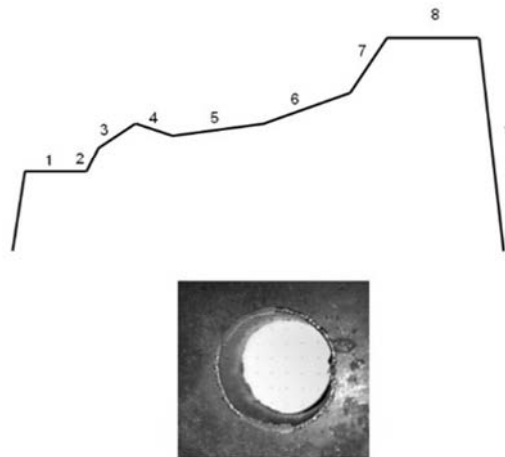


Figure 2 Sequence Plasma hole cut
Slika 2. Rezanje otvora plazmom

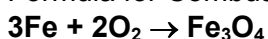
To obtain a good, reproducible cut, that is independent of the skill and current disposition of the machine operator, the cutting database comes into play. These databases have been developed and now made available by the manufacturers of the plasma systems. The essential parameters of plasma automation are included (cutting torch, height control and cutting database). Plasma manufacturers now have a good understanding of the plasma process, which can now be run fully automatically from sheet detection to ignition, hole piercing, cutting and ultimately achieving the results required.

2. Automation of Oxy-Fuel

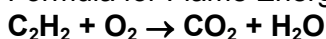
When we look at the Oxy-Fuel process, the adoption of automation does not yet look so advanced. The process flow is similar to the plasma process. The difference is in preheating. While the heat input during plasma cutting comes from the plasma arc, when cutting with Oxy-Fuel, preheating depends on the fuel gas/oxygen mixture. In plasma cutting, the current that generates the plasma beam is easy to control. In Oxy-Fuel cutting, the flame is crucial and the quality of the flame depends on many factors, such as the type and quality of the gas, the cutting torch, control valves, safety equipment and so on.

As shown in Figure 3 (Thermal Balance), in the Oxy-Fuel cutting process, 20% of the energy for the cut comes from the heating flame (see the heating flame formula) and 80% from the exothermic reaction of the iron with the cutting oxygen (see the combustion energy formula). The steel plate provided its own energy, there is no external power source required.

Formula for Combustion Energy



Formula for Flame Energy



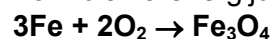
Da bi se dobio dobar, ponovljiv rez, koji je nezavisan od veštine i trenutnog rasporeda operatera mašine, baza podataka za rezanje, ulazi u igru. Ove baze podataka su razvijene i sada su dostupne od strane proizvođača plazma sistema. Uključeni su osnovni parametri automatizacije plazme (rezní gorionik, kontrola visine i baza podataka za rezanje). Proizvođači plazme sada dobro poznaju proces plazme, koji može biti potpuno automatizovan od prepoznavanja lima do paljenja luka, probijanja rupa, rezanja i na kraju postizanja potrebnih rezultata.

2. Automatizacija gasnog rezanja

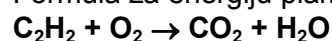
Kada pogledamo proces gasnog rezanja, usvajanje automatizacije još uvek nije toliko napredno. Tok procesa je sličan procesu plazme. Razlika je u predgrevanju. Dok unos toplote tokom rezanja plazmom dolazi iz plazma luka, pri gasnom rezanju, predgrevanje zavisi od mešavine gorivog gasa / kiseonika. Kod rezanja plazmom, struju koja generiše plazma snop je lako kontrolisati. Kod gasnog rezanja, plamen je presudan, a kvalitet plamena zavisi od mnogih faktora, kao što su vrsta i kvalitet gasa, gorionik za rezanje, kontrolni ventili, sigurnosna oprema i tako dalje.

Kao što je prikazano na slici 3 (termička ravnoteža), u procesu gasnog rezanja, 20% energije za rezanje dolazi iz plamena za zagrevanje (vidi formulu plamena za grejanje) i 80% od egzotermne reakcije železa sa kiseonikom za rezanje (vidi formulu energije sagorevanja). Čelična ploča je obezbedila sopstvenu energiju, nije potreban spoljašnji izvor napajanja.

Formula za energiju sagorevanja



Formula za energiju plamena



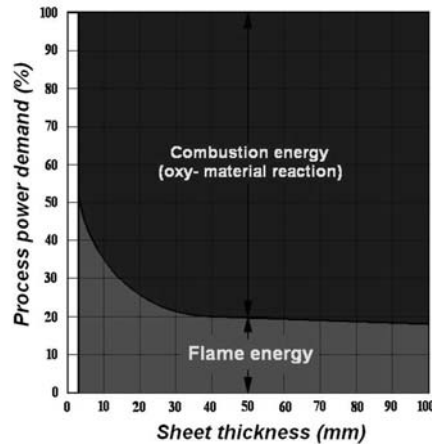


Figure 3 Thermal Balance
Slika 3. Termički balans

The Oxy-Fuel cutting flame actually heats up the plate more than either Laser or Plasma. These are the grey areas in Figure 4. On the left side, it is the heating flame (similar shape as the flame energy from Figure 3). The grey area at the right side is from the blow out of the slag. The middle part is from the burning of iron using cutting oxygen, the combustion energy.

Plamen za gasnorezanje zapravo zagreva ploču više nego laser ili plazma. Ovo su sive oblasti na slici 4. Na levoj strani, to je plamen za grejanje (sličan oblik energije plamena sa slike 3). Siva zona na desnoj strani je od izbacivanja šljake. Srednji deo je od sagorevanja železa pomoću rezanja kiseonikom, energijom sagorevanja.

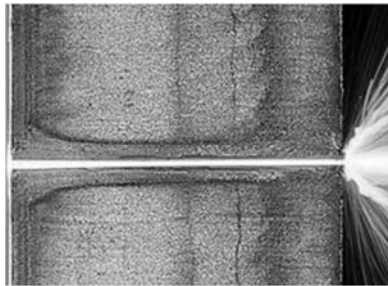


Figure 4 Heat Affected Zone
Slika 4. Zona uticaja toplote

The zone actually affected by heat is larger when cutting with Oxy- Fuel. However, the surface is hardened less because the part takes longer to cool and therefore parts cut with Oxy-Fuel are easier to weld than parts cut using plasma. The second point is the safe ignition of the flame. Manual ignition is still widespread with Oxy-Fuel systems and I think it is important to read the EU Machinery Directive here. It states that machines require safe protection against accidental contact during operation. In other words, it can be seen that automatic ignition, especially not using other external equipment, conforms more closely to the Directive. Reliable automatic ignition also increases productivity and saves costs. Third, the preheating process. The sheet needs to reach a certain temperature to start the hole piercing process. Here the question that always arises is "When is this point reached? How can this be automated?" Many people just trust the machine operator and rely on him to be paying full attention. This is a negative point when compared to plasma and laser,

Zona koja je pod uticajem toplote je veća kada se gasno reže. Međutim, površina manje otvrdnjava jer se deo duže hladi i stoga se delovi koji se gasno režu, lakše zavaraju nego delovi koji se režu plazmom. Druga tačka je bezbedno paljenje plamena. Ručno paljenje je još uvijek široko rasprostranjeno kod gasnog sistema i mislim da je ovde važno pročitati EU Direktivu o mašinstvu. Tu se navodi da mašine zahtevaju sigurnu zaštitu od slučajnog kontakta tokom rada. Drugim rečima, može se videti da se automatsko paljenje, pogotovo ako se ne koristi druga spoljna oprema, više uklapa u Direktivu. Pouzdano automatsko paljenje takođe povećava produktivnost i štedi troškove. Treće, proces predgrevanja. Lim mora da dostigne određenu temperaturu da bi počeo proces probijanja rupe. Ovde se uvek postavlja pitanje: "Kada je ta tačka dostignuta? Kako se ovo može automatizovati?" Mnogi ljudi jednostavno veruju operatoru mašine i oslanjaju se na to da on posvećuje punu pažnju. Ovo je negativna tačka u poređenju sa plazmom i laserom, gde se



where the preheating is achieved very quickly due to the high energy input and is therefore easier to handle. Modern systems have the preheating time included in their cutting database. Automatic detection is desirable but not yet available. The fourth point is the piercing process. This is where the biggest mistakes happen in the Oxy-Fuel process. Correctly automating the piercing process is one of the most important tasks that needs to be achieved in an automated system. Currently all the knowledge of piercing is still in the hands (or head) of the plant operator, so transferring this information into our automated system is vital before our trained operator retires. There are many parameters to consider; Gas quantity, torch height, speed, time, material to be cut, selection of cutting nozzles, sheet thickness, Only sophisticated cutting machines are able to offer a good solution to this tricky problem.

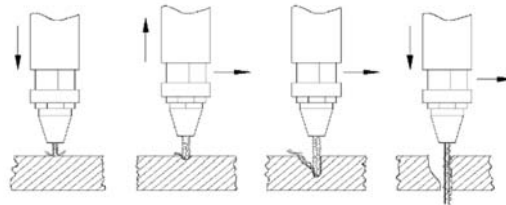


Figure 5 Piercing process

Slika 5. Proces probijanja

Often when cutting with acetylene, backfire occurs in the cutting torch. Backfire mean that the flame burns inside the torch and not outside. With a flame temperature of approx. 3,200 degrees Celsius, you can calculate how quickly the torch will be destroyed. The torch manufacturer is pleased and the user is annoyed. In IHT's APC system, this backfire is detected, the torch is moved to an upper position and the gas supply is immediately cut off thus preventing damage to the cutting torch. Sometimes when cutting there is a build-up of slag on the plate exactly where the cut is to be made. You know you can't get through that mountain of slag. Being an oxide the slag is as hard as glass and there is a risk the cut will fail. What you actually doing is to remove the slag by scratching it. This is at the expense of your productivity. It would be ideal if the torch was to be moved automatically away from the slag without making contact. This is now possible with modern systems such as the APC system. The system automatically detects the slag and sends a signal to the machine control system to reduce the cutting speed. Last but not least, there is the cutting database. This contains the data for all cuttable materials and for sheet thicknesses from 3 to 300mm along with all the information of the entire cutting process from ignition to preheating, hole piercing and cutting.

predgrevanje postiže veoma brzo zbog velikog unosa energije i stoga je lakše rukovati. Moderni sistemi imaju vreme predgrevanja u svojoj bazipodataka za sečenje. Automatska detekcija je poželjna ali još nije dostupna. Četvrta stvar je proces probijanja. Tu se najveće greške dešavaju u procesu gasnog rezanja- Pravilno automatizovanje procesa probijanja je jedan od najvažnijih zadataka koje treba postići u automatizovanom sistemu. Trenutno sve znanje o probijanju je još uvek u rukama (ili glavi) operatera postrojenja, tako da je prenošenje ovih informacija u naš automatizovani sistem od vitalnog značaja pre nego se naš trenirani operater povuče. Postoji mnogo parametara koje treba razmotriti; količina gasa, visina gorionika, brzina, vreme, materijal za sečenje, izbor mlaznica za sečenje, debljina lima, Samo sofisticirane mašine za sečenje mogu da ponude dobro rešenje za ovaj problem.

Često prilikom rezanja sa acetilenom dolazi do paljenja vatre u gorioniku. Povratno paljenje znači da plamen gori unutar baklje, a ne izvana. Sa temperaturom plamena od cca. 3.200 stepeni Celzijusa, možete izračunati koliko brzo će se uništiti baklja. Proizvođač gorionika je zadovoljan a korisnik je ljut. U IHT-ovom APC sistemu, ova povratna paljenja se detektuju, gorionik se pomera u gornji položaj i dovod gasa se odmah prekida, čime se sprečava oštećenje plamenika za rezanje. Ponekad prilikom rezanja na ploči se nakuplja šljaka tačno tamo gdje se vrši rez. Zna se da ne možeš proći kroz tu planinu šljake. Budući da je oksid, šljaka je čvrsta kao staklo i postoji rizik da će rez biti neuspešan.

Ono što radite je da uklonite šljaku tako što ćete je sastrugati. To je na štetu vaše produktivnosti. Bilo bi idealno da se gorionik automatski premesti iz šljake bez kontakta. To je sada moguće sa modernim sistemima kao što je APC sistem. Sistem automatski detektuje šljaku i šalje signal kontrolnom sistemu mašine da smanji brzinu rezanja.

Poslednje, ali ne i najmanje važno, postoji baza podataka o rezanju. Sadrži podatke za sve materijale koji se mogu rezati i za debljine ploča od 3 do 300 mm, zajedno sa svim informacijama o celom procesu rezanja od paljenja do



These and many other features can be incorporated into your cutting systems today so that Oxy-Fuel cutting can have the same level of technology as the other processes and that Oxy-Fuel cutting will return to its original status in our industry.

3. Industry 4.0

What is still missing in thermal cutting is its integration with "Industry 4.0" or, as the Americans say, the "Internet of Things" (IoT for short). There is still a lot of some catching up to do in the cutting industry. If each device can record what it has been used for and for how long and when it may require maintenance, you have already achieved a large part. For this, every device needs a certain level of built-in intelligence and a modern method of communication. The place to start with this is the cutting torch. This is the lowest level. The next is the evaluation at the machine level in order to evaluate, display and intelligently link to this information so that it can be used by others such as the machine manufacturers. With this real data, the experts can carry out the evaluations and then make suggestions to the user on how and when to have the machine serviced. However, remember that you can think of The Cloud as being "Someone else's PC", so before you copy your files to storage that belongs to someone you may not know that well, make sure that there a real benefit for you in doing so. Certainly, Industry 4.0 will come and it will come faster than we believe but do not forget that not everything that is possible is necessarily useful or even safe.

4. Conclusion

In summary, plasma cutting has already been highly automated by the plasma source manufacturers and many machine builders integrate these solutions into their cutting machines. This is currently not the case with Oxy-Fuel cutting. As older experienced Users retire, knowledge gained about Oxy-Fuel cutting over many years is being lost as it hasn't been transferred to their younger replacements who sadly lack expertise and experience. Automation is the key for the future. There is still a lot to be done. This concerns both the automation of the process and the integration of automation into the cutting machine. There is a new momentum in automation of Oxy-Fuel cutting but only if Oxy-Fuel is perceived as important, will proper investment be made again, in technology and in training. The most important thing, however, is that you as the decision-maker first select the right cutting process for your application. Automation is not the only criteria, but it is as to say the least, a very important one.

predgrevanja, probijanja rupa i rezanja.

Ove i mnoge druge karakteristike mogu se danas ugraditi u vaše sisteme za sečenje tako da gasno rezanje može da ima isti nivo tehnologije kao i drugi procesi i da će se gasno rezanje vratiti u prvobitni status u našoj industriji

3. Industrija 4.0

Ono što još uvek nedostaje u termičkom rezanju je njegova integracija sa "Industrijom 4.0" ili, kako kažu Amerikanci, "Internet of Things" (IoT skraćeno). U industriji rezanja još ima dosta toga da se nadoknadi. Ako svaki uređaj može da zabeleži za šta je bio korišćen i koliko dugo i kada može da zahteva održavanje, već ste postigli veliki deo. Za to je, svakom uređaju potreban određeni nivo ugrađene inteligencije i moderan način komunikacije. Mesto za početak je gorionik za rezanje.

Ovo je najniži nivo. Sledeće je procena na nivou mašine da bi se procenila, prikazala i inteligentno povezala ova informacija, tako da je mogu koristiti drugi proizvođači mašina. Sa ovim stvarnim podacima, stručnjaci mogu izvršiti procene i zatim dati predloge korisniku o tome kako i kada servisirati mašinu. Međutim, zapamtite da se Cloud može smatrati „nečijim PC-jem“, tako da pre nego što kopirate fajlove u skladište koje pripada nekome, možda nećete znati da je dobro da se to desi. Naravno, Industrija 4.0 će doći i doći će brže nego što verujemo, ali ne zaboravite da nije sve što je moguće uvek korisno ili čak sigurno.

4. Zaključak

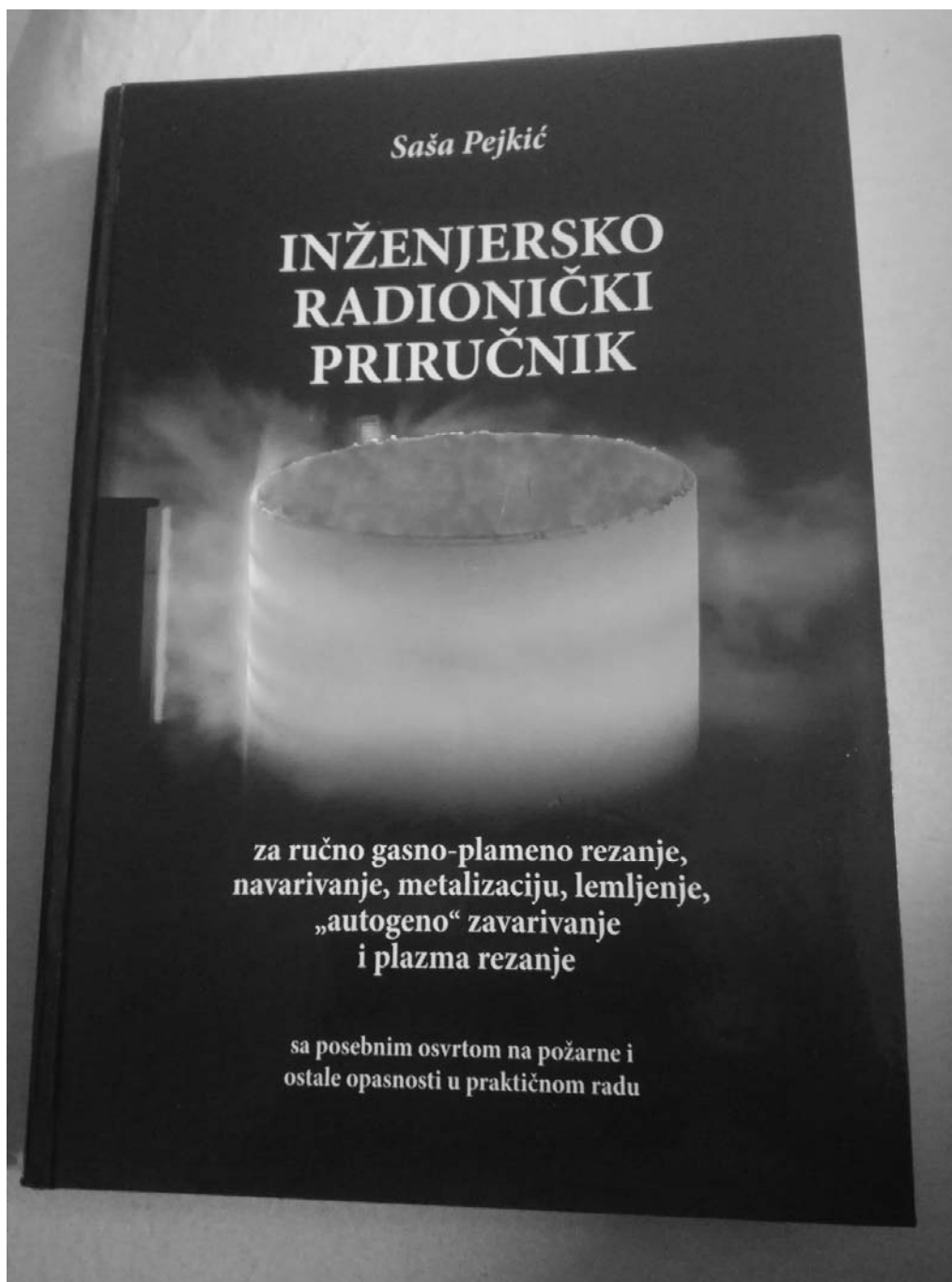
Ukratko, plazma rezanje je već bilo visoko automatizovano od strane proizvođača plazme i mnogi proizvođači mašina integrišu ova rešenja u svoje mašine za sečenje.

Ovo trenutno nije slučaj sa gasnim rezanjem. Kao što se stariji iskusni korisnici povlače, znanje stečeno o gasnom rezanju tokom mnogih godina se gubi jer nije preneto na njihove mlađe zamene koje nažalost nemaju stručnosti i iskustva. Automatizacija je ključ za budućnost. Ima još mnogo toga da se uradi. Ovo se odnosi i na automatizaciju procesa i integraciju automatizacije u mašinu za sečenje. Postoji novi zamah u automatizaciji rezanja kiseonika, ali samo ako se gasno rezanje sagleda kao važno, ponovo će se napraviti odgovarajuća investicija, u tehnologiji i obuci. Najvažnija stvar je, međutim, da vi kao donosilac odluka prvo izaberete pravi proces rezanja za vašu aplikaciju. Automatizacija nije jedini kriterijum, ali je najkraće rečeno, veoma važan.



INŽENJERSKO RADIONIČKI PRIRUČNIK

Iako je ova zanimljiva publikacija izašla iz štampe tokom 2017.godine, sada je prilika da na nju skrenemo pažnju našeg čitalaštva



Publikaciju je izdao autor uz podršku MESSER Tehnogas AD što se već iz naslova može prepoznati. Knjiga je veoma luksuzno opremljena sa mnoštvom dobro obrađenih fotografija, lepo rešenim naglašavanjem onoga što je važno preko crveno odštampanih „PODSETNIKA“ i crno odštampanih „UPOZORENJA“.

Format publikacije je impozantne veličine (veći od A4) na 487 strana.

ISBN 978-86-921215-0-0.

COBISS.SR.-ID 239645196

Mogućnost nabavke je direktno preko autora ili preko MESSER Tehnogas AD.

ČASOPIS ZAVARIVANJE I ZAVARENE KONSTRUKCIJE**Cenovnik oglasnog prostora u četiri uzastopna broja 2019**

	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), 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 2019

	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

DUCTIL SA
 WELD-ING
 YASKAWA SLOVENIJA
 HONEX
 ELIMP
 NEMINIK
 MESSER TEHNOGAS
 APAVE Ver Tech Serbia

1. ČLANARINA DUZS za 2019. godinu **3.500 dinara**
 Članovima DUZS **GRATIS** godišnje izdanje časopisa "ZAVARIVANJE I ZAVARENE KONSTRUKCIJE"
2. ČASOPIS "ZAVARIVANJE I ZAVARENE KONSTRUKCIJE" - 2019. godina
 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 2017. godinu 500 dinara
 - cena pojedinačnog broja za prethodne godine..... 250 dinara
 - b) beneficirane cene za članove DUZS:
 - cena pojedinačnog broja za 2018. godinu (pouzećem ili preuzimanjem) 400 dinara
 - cena pojedinačnog broja za prethodne godine (pouzećem ili preuzimanjem) Gratis
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