



## ANALYSIS OF OXYGEN CONTENT IN ROOT PROTECTION ON THE CORROSION RESISTANCE OF THE STAINLESS STEEL WELDED JOINT

M.Frajzman<sup>1</sup>, I. Garašić<sup>1</sup>, M. Jurica<sup>1</sup>, J. Eržišnik<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture, University of Zagreb, Croatia

### Abstract

The heat tint of the metal surface is a consequence of the presence of an increased concentration of oxygen in the local atmosphere during a large heat input into the metal, as a result of which oxidation of the surface layers occurs. Therefore, the formation of heat tint is closely related to the thermal conductivity, density and specific heat of the metal and the chromium content of the workpiece. The occurrence of heat tint is especially pronounced when welding Cr-Ni steels, which due to improper welding technology can lose their corrosion resistance to a large extent. Oxidation of the surface leads to a thickening of the oxide layer on the surface of the metal, which causes withdrawal of chromium from the subsurface layers, resulting in a chromium-depleted layer. Such a chromium-depleted subsurface layer is particularly susceptible to pitting and crevice corrosion.

The experimental work was carried out by surfacing ten samples with an automated TIG process without filler material with different types of shielding gases for root protection, currents and welding speeds. Welding parameters such as the type and flow of shielding gas, the distance of the tip of the tungsten electrode from the base material, and the welding position were kept constant throughout the experiment. The aim of the experimental work was to determine the influence of the oxygen content in the root protection, during surfacing, on the formation of discoloration of the metal surface. Also, after surfacing, tests were carried out in order to determine the corrosion resistance of the metal surface where the discoloration occurred. The test for pitting corrosion was carried out in accordance with the ASTM G48-99a standard, and the analysis of the test results was carried out in accordance with the ASTM G46-94 standard.

**Keywords:** TIG welding, stainless steel, heat tint, root protection

### Sažetak

Pobojenje površine metala je posljedica prisutnosti povećane koncentracije kisika u lokalnoj atmosferi kod velikog unosa topline u metal, uslijed čega dolazi do oksidacije površinskih slojeva.



Samim time, nastanak pobojenja je usko povezan s toplinskom vodljivošću, gustoćom i specifičnom toplinom metala te sadržajem kroma radnom komadu. Nastanak pobojenja je posebno izražen kod zavarivanja Cr-Ni čelika koji uslijed nepravilne tehnologije zavarivanja i zaštite mogu u velikoj mjeri izgubiti svoju korozivnu postojanost.

Oksidacijom površine dolazi do zadebljanja oksidnog sloja na površini metala što uzrokuje povlačenje kroma iz potpovršinskih slojeva te time nastaje sloj osiromašen kromom. Takav potpovršinski sloj osiromašen kromom je posebno osjetljiv na pojavu rupičaste korozije i korozije u zazoru.

U eksperimentalnom radu izvedeno je pretaljivanje deset uzorka automatiziranim TIG postupkom bez dodatnog materijala s različitim vrstama plinova za korijensku zaštitu, strujama i brzinama zavarivanja. Parametri zavarivanja kao što su vrsta i protok zaštitnog plina, udaljenost vrha volframove elektrode od osnovnog materijala i položaj zavarivanja bili su konstantni tijekom cijelog eksperimenta. Cilj eksperimentalnog rada bio je utvrditi utjecaj udjela kisika pri korijenskoj zaštiti, za vrijeme pretaljivanja, na nastanak pobojenja površine metala. Također, nakon pretaljivanja provedena su ispitivanja u cilju utvrđivanja korozivne postojanosti površine metala na kojoj je došlo do nastanka pobojenja. Ispitivanje na rupičastu koroziju provedeno je sukladno normi ASTM G48-99a, a analiza rezultata ispitivanja provedena je sukladno normi ASTM G46-94.

**Ključne riječi:** TIG zavarivanje, Cr-Ni čelici, pobojenje površine, korijenska zaštita

## 1. Uvod

Jedna od glavnih karakteristika po kojoj se Cr-Ni čelici ističu je njihova izrazito dobra korozivna postojanost prema različitim oblicima korozije. Narušavanjem te korozivne postojanosti, baziranoj na udjelu kroma u strukturi, ova skupina čelika uvelike gubi svoju široku primjenu u eksploataciji. Samim time, nastanak pobojenja na površini ove vrste metala tijekom procesa zavarivanja predstavlja veliki problem za daljnju kvalitetnu upotrebu i primjenu zbog gubitka korozivne postojanosti. Do nastanka pobojenja površine dolazi uslijed velike koncentracije kisika (više od 20 ppm) u lokalnoj atmosferi metala zavara i zone utjecaja topline tijekom procesa zavarivanja. Međutim, intenzitet nastanak pobojenja se uvelike može kontrolirati pravilnom pripremom, provedbom zavarivanja i obradom nakon zavarivanja. Pravilan izbor zaštitnih plinova (električnog luka i korijena zavara), mjerenjem koncentracije kisika, vođenje računa o unosu topline i obrada površine nakon zavarivanja čine ključne čimbenike u održavanju korozivne postojanosti Cr-Ni čelika.

## 2. Nastanak pobojenja na površini metala

Nastanak pobojenja (engl. Heat tint) na površini metala direktno je povezan s toplinskom difuzivnošću metala koju definiraju toplinska vodljivost, gustoća i specifična toplina metala koji se zavaruje. Toplinska difuzivnost predstavlja brzinu promjene temperature i tijek širenja topline što je posebno važno kod zavarivanja visokolegiranih čelika. Samim time, metali koji imaju visoku toplinsku



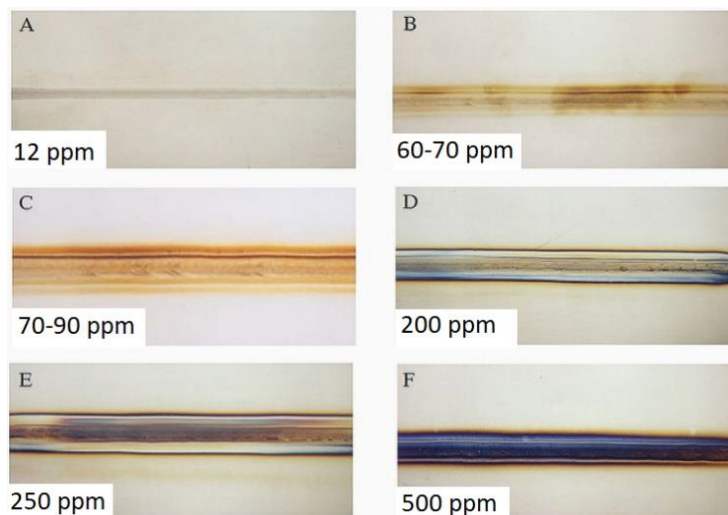
difuzivnost odlikuju se bržim hlađenjem te imaju užu zonu utjecaja topline tijekom zavarivanja. Međutim, metali koji imaju nižu vrijednost toplinske difuzivnosti se puno sporije hlade, što za posljedicu ima širu zonu utjecaja topline tijekom zavarivanja. Uz vrijednost toplinske difuzivnosti, samom nastanku pobojenja doprinosi gubitak sadržaj kroma u strukturi, povećana hrapavost površine, premazi, nečistoća i hrđa na površini metala. [1]

Ova četiri faktora utječu na samu intenzivnost nastanka pobojenja, a samim time i na nijansu boje pobojenja. Glavni uzročnik nastanka pobojenja je kisik koji svojom povećanom koncentracijom u lokalnoj atmosferi tijekom zavarivanja dovodi do oksidacije površinskih slojeva, a time i do zadebljanja oksidnog sloja. Zadebljanjem oksidnog sloja na površini metala dolazi do povlačenja kroma iz potpovršinskih slojeva te time nastaje sloj osiromašen kromom. Takav potpovršinski sloj osiromašen kromom je posebno osjetljiv na pojavu rupičaste korozije i korozije u zazoru. Visoka koncentracija kisika u lokalnoj atmosferi uzrokuje dodatni gubitak kroma u površinskom sloju te time dolazi do nastanka oksidnog sloja bogatog željezom koji je izrazito slabe korozijske postojanosti. Pojava različitih oblika korozije na ovakvom oksidnom sloju počinje vrlo brzo nakon njegovog izlaganja atmosferskim uvjetima te takva površina visokolegiranih Cr-Ni čelika nema skoro nikakvu korozijsku postojanost. [2]

### 3. Mehanizmi zaštite površine metala od nastanka pobojenja

Sam nastanak pobojenja površine tijekom zavarivanja se ne može spriječiti, ali pravilnim mehanizmima zaštite i obrade prije i nakon zavarivanja se može uvelike smanjiti njegov intenzitet nastanka. Obrada površine metala prije zavarivanja čini time prvi korak u sprječavanju nastanka pobojenja jačeg intenziteta, a time i održavanja što bolje korozijske postojanosti metala koji se zavaruje. Površinu metala je potrebno očistiti prije zavarivanja od različitih premaza, boja, masti, hrđe i ostalih nečistoća koje se mogu pojaviti na površini. Također, potrebno je voditi računa o hrapavosti površine, jer veća hrapavost dovodi do veće oksidacije. Glavni mehanizam zaštite kojim se može u velikoj mjeri smanjiti intenzitet pobojenja površine metala je pravilan izbor zaštitnog plina za zavarivanje i plina za korijensku zaštitu. U oba slučaja preporučljivo je koristiti inertni plin argon, pri čemu je poželjno da on bude čim veće čistoće npr. II 5.0 (HRN EN ISO 14175:2008). Međutim, štetan utjecaj kisika se može dodatno smanjiti ako se argonu doda mala količina vodika npr. R1 ArH 5 (HRN EN ISO 14175:2008) [3]. Takvom plinskom mješavinom se postiže reakcija kisika i vodika tijekom procesa zavarivanja jer na temperaturama iznad 500 °C dolazi do nastanka vodene pare koja isparava uslijed visokih temperatura u električnom luku [3]. Čistoća zaštitnog plina je također vrlo važan čimbenik u kvalitetnoj zaštiti od nastanka intenzivnijeg pobojenja površine. Ovisno o zahtjevima za kvalitetu zavara, prisutnost kisika u zaštitnom plinu se može kretati u rasponu od 10 do 20 ppm, a u nekim slučajevima može iznositi i do 100 ppm [4]. Slika 1 prikazuje utjecaj različitih koncentracija kisika u zaštitnom plinu na intenzitet nastanka pobojenja površine zavara. Jasno je vidljivo da s povećanjem koncentracije kisika, intenzitet pobojenja raste te su i njegove boje tamnije. Vrijednosti koncentracije kisika iznad 50 ppm značajno utječe na intenzitet pobojenja površine pošto

u tom slučaju zaštitni plin (Argon) gubi zaštitnu atmosferu koju stvara te kao takav ne može pravilno štiti površinu metala zavara [5].



**Slika 1** Utjecaj koncentracija kisika u zaštitnom plinu na intenzitet nastanka pobojenja [5]

Dobrom inženjerkom praskom, postoji poveznica između toplinske nijanse pobojenja i razine korozivne postojanosti nastalog oksida na površini metala. Naime, tamnija boja pobojenja površine predstavlja deblji sloj nastalog oksida što dovodi do značajno slabije korozivne postojanosti. Uz pravilan izbor zaštitnog plina, vrlo važna je primjena naprava za korijensku zaštitu koje omogućuju održavanje zaštitne atmosfere tijekom zavarivanja. Uloga takvih naprava je da zadrže zaštitni plin na mjestu žlijeba za zavarivanje te time spriječe štetan utjecaj plinova iz lokalne atmosfere. Postoje različite izvedbe takvih naprava, pri čemu je njihova primjena najizraženija kod kutnog i suočenog zavarivanja cijevi. Dodatno osiguranje korozivne postojanosti nakon zavarivanja, postiže se uklanjanjem nastalog pobojenja s površine metala. Oksidni sloj se uklanja čišćenjem koje se može provesti mehaničkom, kemijskom i elektrokemijskom obradom površine nakon zavarivanja [3]. Najbolji rezultati čišćenja površine se postižu kemijskom i elektrokemijskom obradom jer dolazi do jednolikog i potpunog uklanjanja pobojenja s površine metala. [2]

#### 4. Eksperimentalni rad

Eksperimentalni rad proveden je u Laboratoriju za zavarivanje na Fakultetu strojarstva i brodogradnje, Sveučilišta u Zagrebu. U sklopu eksperimentalnog rada izrađeno je deset uzoraka automatiziranim TIG pretaljivanjem cijevi od austenitnog visokolegiranog Cr-Ni čelika, oznake X5 CrNi 18-10 (Duljina: 70 mm

- Unutarnji promjer: 15 mm
- Debljina stijenke cijevi: 3 mm

Tablica 1, Tablica 2) bez dodatnog materijala. Parametri zavarivanja kao što su vrsta i protok plina za korijensku zaštitu, struja i brzina zavarivanja su se mijenjali tijekom eksperimenta. Parametri kao što su vrsta i protok zaštitnog plina, položaj zavarivanja i udaljenost elektrode od radnog komada bili su konstantni tijekom cijelog eksperimenta (Tablica 3). Izvor struje korišten za TIG pretaljivanje je Fronius MagicWave 230i, a pretaljivanje uzoraka provedeno je na automatu za zavarivanje BUG-O systems.

Prije početka pretaljivanja uzorka, provedeno je mjerenje koncentracije kisika u plinu za korijensku zaštitu uz pomoć oksimetra PRO OX-100 (Razlučivost mjernog instrumenta: 100 ppm). Ispitni uzorci izrezani su iz cijevi, a njihove dimenzije su:

- Duljina: 70 mm
- Unutarnji promjer: 15 mm
- Debljina stijenke cijevi: 3 mm

**Tablica 1** Kemijski sastav čelika X5 CrNi 18-10, maseni udio [6]

	C	Mn	P	S	Cr	Si	N	Ni
Min.[%]	-	-	-	-	18,00	-	-	8,00
Maks. [%]	0,08	2,00	0,040	0,030	20,00	0,75	0,110	11,00

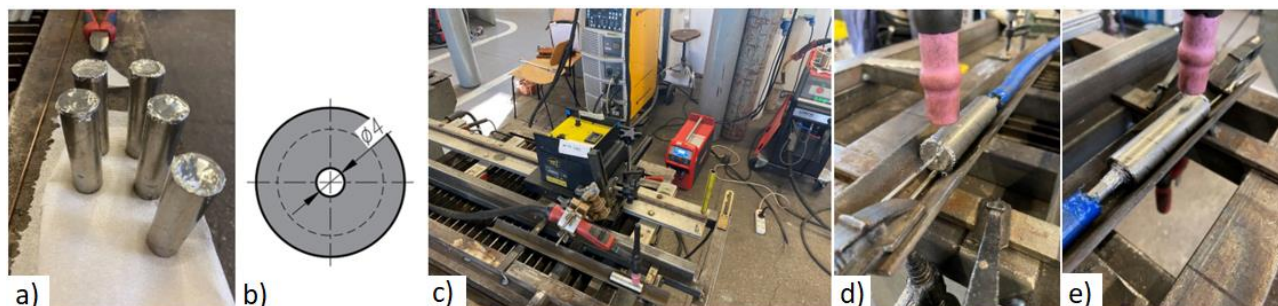
**Tablica 2** Mehanička svojstva čelika X5 CrNi 18-10 [6]

$R_m$ , N/mm <sup>2</sup>	$R_{p0,2}$ , N/mm <sup>2</sup>	$A_5$ , %	$\lambda$ , W/mK	$c$ , J/kgK
520-720	195	35-40	16,2	500

**Tablica 3** Konstantni parametri pretaljivanja

Položaj zavarivanja	Zaštitni plin (HRN EN ISO 14175:2008)	Protok plina, l/min	Nagib pištolja	Udaljenost volframove elektrode od radnog komada
PA	Argon 4.8 (II)	8	90 °	4 mm

Prije početka pretaljivanja, uzorci su temeljito očišćeni i odmašćeni uz pomoć 70 % etilnog alkohola (Slika 2.a) te su djelomično zatvoreni s jedne strane uz pomoć thermaflex aluminijske ljepljive trake (Slika 2.b) i postavljeni u automat za zavarivanje (Slika 2.c). U uzorke je umetnuto crijevo za dovod plina za korijensku zaštitu (Slika 2.e) i sonda oksimetra kojim je mjerena koncentracija kisika u cijevi prije pretaljivanja (Slika 2.d). Pretaljivanje ispitnih uzoraka provedeno je prema parametrima prikazanim u Tablica 4.

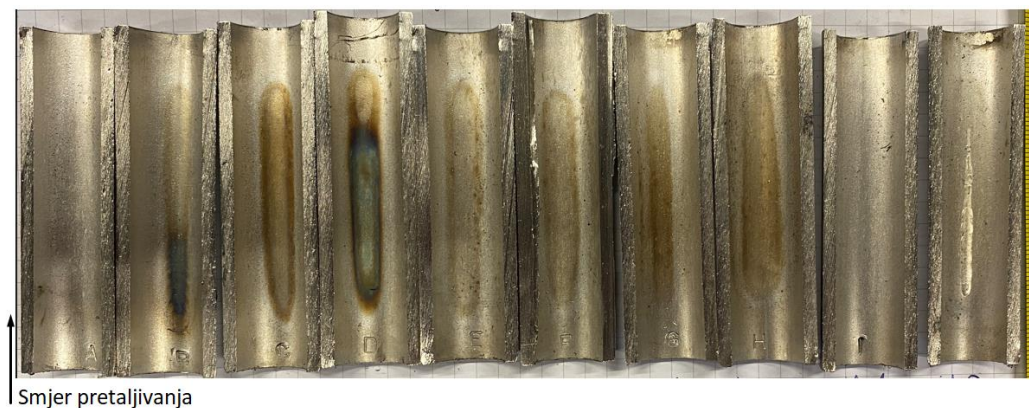


Slika 2 Priprema uzoraka za pretaljivanje

Tablica 4 Parametri pretaljivanja tijekom izvođenja eksperimenta

Oznaka uzorka	Jakost struje, A	Napon, V	Zaštitni plin za korijensku zaštitu (HRN EN ISO 14175:2008)	Protok plina, l/min	Brzina pretaljivanja cm/min	Razina kisika u korijenu zavora, ppm	Unos topline, kJ/cm
A	70	28	I1 5.0	6	13	<100	2,48
B	70	28	I1 5.0	9	13	500	2,48
C	75	30	I1 5.0	6	13	<100	2,70
D	70	28	R1 ArH 5	10	13	500	2,48
E	70	28	R1 ArH 5	6	13	<100	2,48
F	75	30	R1 ArH 5	4,5	13	<100	2,70
G	70	28	R1 ArH 5	4,5	17	<100	1,89
H	70	28	R1 ArH 5	4,5	9	<100	3,58
I	70	28	I1 5.0	6	17	<100	1,89
J	70	28	I1 5.0	6	9	<100	3,58

Nakon provedenog pretaljivanja ispitnih uzorka, provedeno je kontinuirano mjerenje temperature površine pretaljenog sloja uz pomoć beskontaktnog termometara. Važno je napomenuti da je plin za korijensku zaštitu ostavljen na istom protoku i nakon pretaljivanja u svrhu zaštite korijena pretaljenog sloja sve do trenutka kada je temperatura površine bila ispod 100 °C. Uzorci su nakon hlađenja rezani na pola po duljini u svrhu bolje analize korijena pretaljenog sloja (Slika 3).



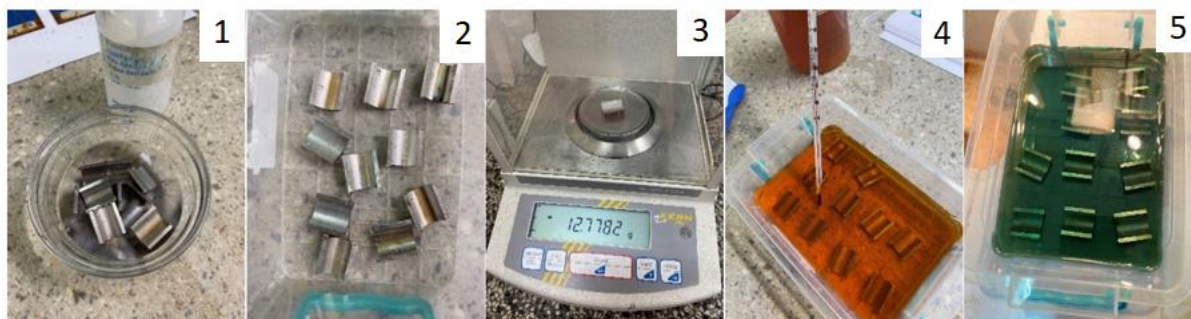
Slika 3 Uzorci nakon pretaljivanja - korijenska strana

#### 4.1. Ispitivanje na rupičastu koroziju prema normi ASTM G48-99a

Ispitivanje uzoraka na korozijsku postojanost prema rupičastoj koroziji provedeno je prema normi ASTM G48-99a pri čemu je ispitivanje provedeno metodom A. Ispitni uzorci su rezani na dimenzije 25 mm x 21 mm na mehaničkoj pili BS 350 GH suhim rezanjem. Tijekom rezanja mjerila se temperatura rezne površine, koja nije prelazila 120 °C te kao takva nije mogla utjecati na rezultate ispitivanja.[7]

Ispitivanje je provedeno prema uputama iz norme ASTM G48-99a [7]:

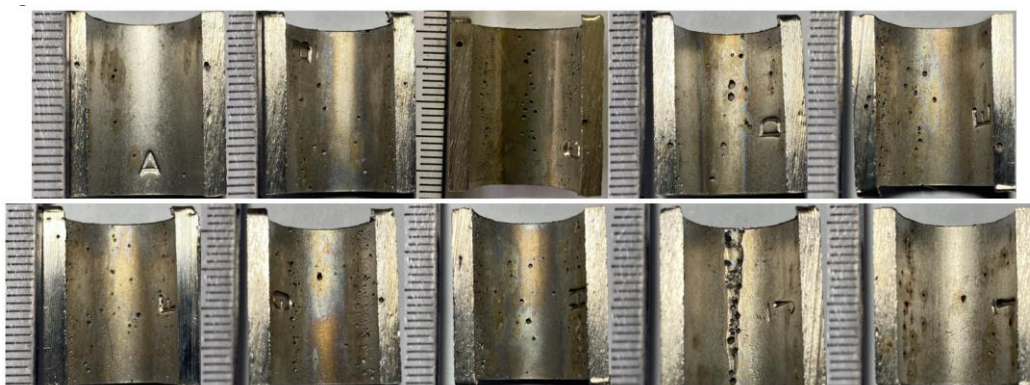
1. Provedenim signiranjem i kontrolom dimenzija, izvršeno je čišćenje uzoraka u 70 % etanolu u cilju uklanjanja eventualnih nečistoća i masti s površine (Slika 4.1) te su uzorci ostavljeni na zraku da se osuše (Slika 4.2).
2. Mjerenje mase (Slika 4.3) uzoraka prije djelovanja kiseline kako bi se točno mogao utvrditi gubitak mase. Mjerenje je provedeno na vagi KERN ABS 80-4N koja podržava zahtjeve za razlučivosti mjerenja (od 0,0001 g) koje zahtjeva norma ASTM G48-99a.
3. Nagrizanje ispitnih uzoraka (Slika 4.4) je provedeno u 600 ml željezovog klorida ( $\text{FeCl}_6 \times 6\text{H}_2\text{O}$ ) u posudi volumena 1000 ml.
4. Sukladno uputama iz norme, vrijeme trajanja nagrizanja je 72 h, pri čemu temperatura željezovog klorida mora biti unutar  $22 \pm 2$  °C za vrijeme cijelog trajanja nagrizanja ispitnih uzoraka (Slika 4.5).
5. Norma propisuje da se uzorci koji su bili podvrgnuti ispitivanju metodom A, nakon nagrizanja izvade iz željezovog klorida te se prvo isperu toplom vodom i očiste najlonskom četkom u cilju uklanjanja eventualne opće korozije s površine.



Slika 4 Priprema i nagrizanje uzoraka prema normi ASTM G48-99a

#### 4.2. Analiza rezultata ispitivanja na rupičastu koroziju prema normi ASTM G46-94

Mjerenje gubitka mase ispitnih uzoraka preporučuje se sukladno normi ASTM G46-94 u slučaju da površina samog uzorka, nakon nagrizanja prema normi ASTM G48-99a, nema intenzivniju pojavu opće korozije, pošto u tom slučaju dobiveni rezultati nisu vjerodostojni. Također, ovaj oblik mjerenja se preporučuje u slučaju velikog intenziteta rupičaste korozije na površini ispitnih uzoraka [8]. Vizualni pregled uzoraka, proveden je pod običnim osvjetljenjem bez upotrebe dodatnih pomagala u okviru povećala ili mikroskopa prema uputama iz norme ASTM G46-94 [8]. Vizualnim pregledom ispitnih uzoraka (Slika 5) može se uočiti značajni intenzitet rupičaste korozije po površini korijena pretaljenog sloja, a opća korozija je zanemarivog intenziteta. Sukladno tome, uzorci su validni da se na njima provede ispitivanje gubitka mase. Rezultati mjerenja gubitka mase ispitnih uzoraka prikazani su u Tablica 5.



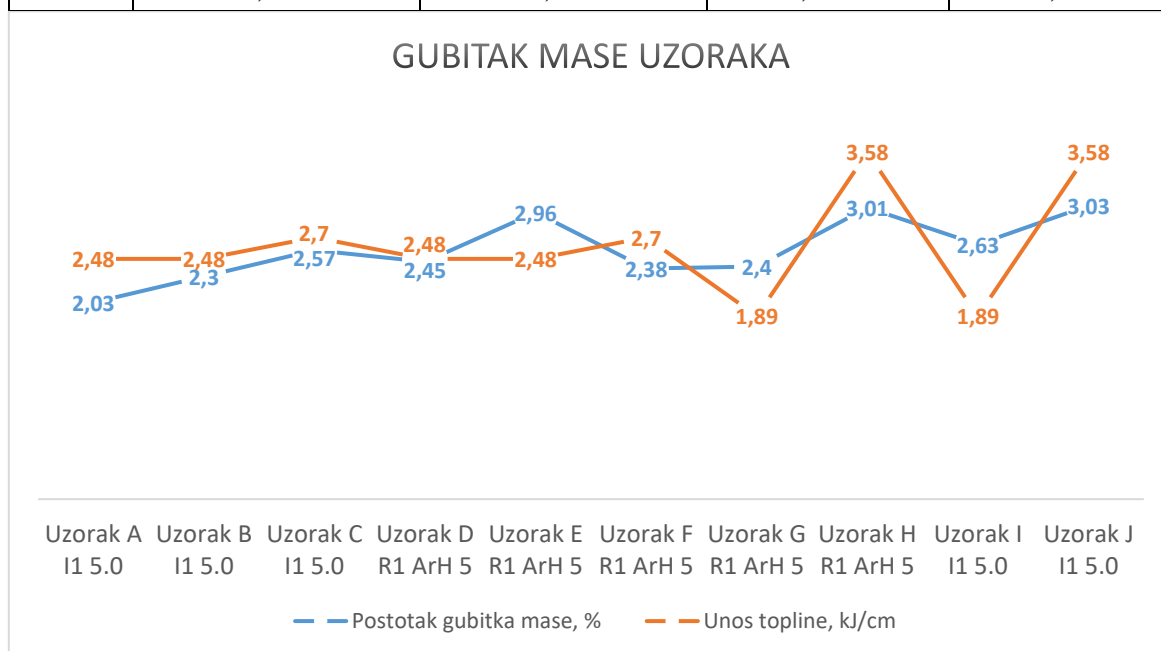
Slika 5 Očišćeni i osušeni uzorci nakon nagrizanja

Tablica 5 Rezultati mjerenja gubitka mase ispitnih uzoraka

Uzorak	Masa uzoraka prije nagrizanja, g	Masa uzoraka nakon nagrizanja, g	Gubitak mase, g	Postotak gubitka mase, %
A	12,7782	12,5186	0,2596	2,03
B	12,7231	12,4300	0,2931	2,30



C	12,3422	12,0250	0,3172	2,57
D	12,5812	12,2733	0,3079	2,45
E	12,5930	12,2198	0,3732	2,96
F	12,4886	12,1912	0,2974	2,38
G	11,5527	11,2749	0,2778	2,40
H	14,3240	13,8934	0,4306	3,01
I	13,4809	13,1265	0,3544	2,63
J	11,7016	11,3470	0,3546	3,03



**Slika 6** Dijagram gubitka mase uzoraka ovisno o unosu topline i vrsti zaštitnog plina

Analizom rezultata mjerenja prikazanih u Tablica 5 i Slika 6 može se uočiti kako najveći postotak gubitka mase imaju uzorci H i J koji su imali smanjenju brzinu pretaljivanja (9 cm/min) te samim time i najveći unos topline (3,58 kJ/cm). Vrijedi istaknuti da uzorak J (I1 5.0) ima malo veći postotak gubitaka mase u odnosu na uzorak H (R1 ArH 5). Uzorci (G, I) koji su imali povećanu brzinu pretaljivanja (17 cm/min) te time i najmanji unos topline (1,89 kJ/cm) također se razlikuju po postotku gubitka mase. Uzorak G (R1 ArH 5) ima manji postotak gubitka mase u odnosu na uzorak I (I1 5.0). Uzorci A i E koji predstavljaju bazne uzorke prema svojim parametrima pretaljivanja također, imaju različite postotke gubitka mase, pri čemu je taj gubitak kod uzorka E (R1 ArH 5) značajno veći u odnosu na uzorak A (I1 5.0). Usporedbom postotka gubitaka mase uzoraka s povećanom koncentracijom kisika (500 ppm) može se uočiti da uzorak D (R1 ArH 5) ima veći postotak gubitaka mase u odnosu na uzorak B (I1 5.0). Međutim, kod usporedbe rezultata uzoraka C i F koji su imali veću vrijednost struje pretaljivanja (75 A), uzorak C (I1 5.0) ima veći postotak gubitaka mase u odnosu na uzorak F (R1 ArH 5).



## 5. Zaključak

Mijenjanjem parametara pretaljivanja kao što su jačina struje, vrsta plina za korijensku zaštitu i koncentracija kisika u plinu za korijensku zaštitu simulirani su različiti utjecajni parametri na korozijska svojstva površine. Ispitivanje korozijske postojanosti provedeno je prema normi ASTM G48-99a, a analiza rezultata ispitivanja prema normi ASTM G46-94.

Analizom rezultata ispitivanja može se zaključiti kako slijedi:

- Različiti parametri pretaljivanja imaju različiti učinak na intenzitet nastanka rupičaste korozije na površini osnovnog materijala.
- Argon (I1 5.0) kao plin za korijensku zaštitu pri povećanom unosu topline uzorkovanom smanjenom brzinom pretaljivanja ili povećanjem struje, pruža slabiju zaštitu od pojave rupičaste korozije u odnosu na plinsku mješavinu argona i vodika (R1 ArH 5).
- Unos topline za jednake parametre pretaljivanja, ima negativniji utjecaj na zaštitnu atmosferu a samim time i na zaštitu od pojave rupičaste korozije ako se koristi argon (I1 5.0) u odnosu na plinsku mješavinu argona i vodika (R1 ArH 5).
- Mješavina argona i vodika (R1 ArH 5) kao plina za korijensku zaštitu pri povećanoj koncentraciji kisika (500 ppm) pruža slabiju zaštitu od pojave rupičaste korozije u odnosu na argon (I1 5.0).

Temeljem ovih zaključaka, preporučuje se uporaba argona kao plina za korijensku zaštitu u situacijama gdje se očekuje povećana koncentracija kisika zbog veće čistoća zaštitnog plina. Međutim, u situacijama gdje se očekuje povećani unos topline, preporučuje se uporaba mješavine argona i vodika kao plina za korijensku zaštitu.

## 6. Literatura

- [1] “What is the Heat Affected Zone (HAZ)?” <https://www.twi-global.com/technical-knowledge/faqs/what-is-the-heat-affected-zone.aspx> (accessed Apr. 13, 2023).
- [2] T. Brajkovi, I. Juraga, and V. Šimunović, “Influence of surface treatment on corrosion resistance of Cr-Ni steel,” *Eng. Rev.*, vol. 33, no. 2, pp. 129–134, Mar. 2013.
- [3] B. Jegdić and B. Bobić, “Preventing and removing of heat tint,” *Zavar. Zavarene Konstr.*, vol. 59, pp. 11–19, Jan. 2014, doi: 10.5937/zzk1401011J.
- [4] J. C. Lippold and D. J. Kotecki, *Welding metallurgy and weldability of stainless steels*. Hoboken, NJ: John Wiley, 2005.
- [5] “Inert Gas Purging with Orbital Welding.” <https://www.huntingdonfusion.com/index.php/en/technical-support/technical-papers-61691/287-world-pipelines> (accessed Apr. 04, 2023).
- [6] “HRN EN 10088-3:2015,” Apr. 30, 2012. <https://repositorij.hzn.hr/norm/HRN+EN+10088-3%3A2015> (accessed Mar. 20, 2023).
- [7] “ASTM G48-99a,” ASTM International. doi: 10.1520/G0048-99A.
- [8] “ASTM G46-94,” ASTM International. doi: 10.1520/G0046-94R18.