



ZAVARIVANJE ČELIKA S690QL

M. Jagnjić^{1,*}, D. Marić², K. Didić¹, S. Radojičić², T. Šolić², J. Eržišnik³

¹Đuro Đaković Specijalan vozila, Slavonski Brod, Croatia

²Mechanical Engineering Faculty in Slavonski Brod, University of Slavonski Brod, Croatia

³Sveučilište u Zagrebu; Fakultet strojarstva i brodogradnje, Ul. Ivana Lučića 5, 10000, Zagreb, Hrvatska

* Corresponding Author. E-mail: mario.jagnjic@ddsv.hr

Sadržaj

Rad se bavi problemima prilikom zavarivanja čelika S690QL kao i samom tehnologijom zavarivanja. Poznato je da čelik S690QL ima i nekih negativnih stvari, a jedna od bitnijih je pojava hladnih pukotina. S690QL je niskolegirani konstrukcijski čelik visoke čvrstoće s dobrim svojstvima zavarivanja i savijanja. Dizajneri često odabiru ovaj višenamjenski materijal visoke čvrstoće i velike rastezljivosti kako bi smanjili težinu konstrukcija.

Ključne riječi: visokočvrsti čelik S690QL; mehanička svojstva; zavarljivost; tvrdoća

1. Uvod

S690QL je konstrukcijski čelik visoke granice razvlačenja proizveden u skladu s normom EN 10025-6. Ovaj je čelik dizajniran za pružanje izvrsne kombinacije visoke čvrstoće, žilavosti, otpornosti na abraziju i zavarljivosti. Kemijski sastav definiran je standardom (EN 10025-6). Broj materijala/ čelika je 1.8928

Oznake čelika:

S - Structural steel

690 - Minimum yield strength MPa

Q - Quenched and tempered delivery condition

L - Impact energy tested at -40°C

S690QL je konstrukcijski čelik vrlo visoke čvrstoće i može rezultirati većim kapacitetom nosivosti i lakšim strukturama kada se koristi umjesto konvencionalni konstrukcijski čelici.



Upotreba uključuje opremu za zemljane radove, kiperne, mobilne dizalice, bušilice, ventilatore velike brzine i mostove. Struktura ih čini lako zavarljivima, ali samo za limove male debljine. Za zavarivanje debljih limova moraju se slijediti preporuke i upute vezane uz izbor tehnologije zavarivanja kao i dodatnog materijala. Ti čelici su sklони hladnim pukotinama. Hladne pukotine nastaju pri temperaturama nižim od 300 °C. Karakteristično za hladne pukotine je to što se mogu pojaviti nekoliko sati, ili čak dana, nakon zavarivanja. Opasnost od pojave vodikovih pukotina raste s povećanjem čvrstoće materijala te kod zavarivanja materijala s debljom stjenkom, gdje je potrebno ostvariti zavareni spoj u više prolaza.

2. Svojstva čelika S690QL

Glavni razlozi masovne primjene čelika visoke čvrstoće ove klase su izuzetno visoka mehanička svojstva, poput vlačne čvrstoće i naprezanja tečenja, kao i povoljna udarna žilavost.

Pogodnosti čelika S690QL [1]:

- vrhunska savitljivost i kvaliteta površine,
- zavarljivost s izvrsnom HAZ čvrstoćom i žilavošću,
- izuzetna konzistencija unutar ploče zajamčena malim tolerancijama,
- visoka udarna žilavost koja osigurava dobru otpornost na lomove

Mehanička svojstva prema EN10025-6 1.8928 S690QL prikazana su u tablici 1:

Tablica 1. Mehanička svojstva [2]

Grade	Steel Number	Min. Yield Strength Reh MPa			Tensile Strength Rm MPa			Min. % elongation after fracture
		Nominal thickness (mm)			Nominal thickness (mm)			
		≥3 ≤50	≥50 ≤100	≥100 ≤150	≥3 ≤50	≥50 ≤100	≥100 ≤150	
S690QL	1.8928	690	650	630	770/940	760/930	710/900	14

Kemijska svojstva čelika EN10025-6 1.8928 S690QL prikazana su u tablici 2.

Tablica 2. Kemijska svojstva [EN 10025-6]

Grade	Quality	C % max.	Si % max.	Mn % max.	P % max.	S % max.	N % max.	B % max.	Cr % max.	Cu % max.	Mo % max.	Nb % max.	Ni % max.	Ti % max.	V % max.	Zr % max.
All grades	(no symbol) L L1	0,20	0,80	1,70	0,025 0,020 0,020	0,015 0,010 0,010	0,015	0,005 0	1,50	0,50	0,70	0,06	2,0	0,05	0,12	0,15

Ovisno o debljini proizvoda i uvjetima proizvodnje, proizvođač može čeliku dodati jedan ili više legirajućih elemenata do najviše vrijednosti dane kako bi se dobila određena svojstva [3]. Mora biti prisutno najmanje 0,015 % elementa za pročišćavanje. Aluminij je također jedan od tih elemenata. Minimalni sadržaj od 0,015 % odnosi se na topive aluminij, smatra se da je ova vrijednost postignuta ako je ukupni sadržaj aluminija najmanje 0,018 %; u slučaju spora utvrđuje se sadržaj topljivog aluminija.

Aluminij (Al) se najviše koristi kao element za dezoksidaciju u metalurškoj preradi čelika, a također je učinkovito sredstvo za denitriranje (stvara spoj AlN). Nadalje, aluminij povećava otpornost na koroziju pri povišenim i visokim temperaturama. **Titan (Ti)** ima jaki afinitet prema kisiku, ugljiku, dušiku i sumporu. Titan je najjači karbidotvorac. **Vanadij (V)** je jak karbidotvorac i na taj način povisuje tvrdoću i otpornost na trošenje. Vanadij usitnjava primarno austenitno zрно. Potreban je u brzoreznim čelicima, alatnim čelicima za rad pri povišenim temperaturama, te u konstrukcijskim čelicima za trajni rad pri povišenim temperaturama.

Međutim, podatke o čeliku S690QL, koje dostavlja proizvođač, potrebno je provjeriti testovima, budući da mehanička svojstva, kao i kemijski sastav, mogu varirati od serije do serije, što se u nekim slučajevima ne može zanemariti. To se može vidjeti na slučaju razlika u kemijskom sastavu propisanom normom EN 10025-6.

3. Primjena čelika S690QL

Ovaj čelik se koristi za zavarene konstrukcije svih vrsta, kao što su posude pod pritiskom, cjevovodi, mostovi i konstrukcije, kao i transportna vozila, mobilne dizalice, rudarska oprema, dizalice i zemljani radovi opreme, koja se koristi u različitim vrstama klimatskih uvjeta. Primjena S690QL čelika prvenstveno se odnosi na vrlo pouzdane konstrukcije proizvode.



Slika 1. Proizvodi s čelikom S690QL [4]

4. Hladno oblikovanje

Čelici se uglavnom obrađuju hladno, tj. na temperaturama ispod najveće dopuštene temperature naprežanja. Nakon teških operacija hladnog oblikovanja obično je dovoljno da se provede tretman za



smanjenje naprezanja kako bi se smanjiti učinke hladnog oblikovanja i poboljšati žilavost koja je narušena zbog hladnog oblikovanja. To se radi samo u slučajevima kada specifikacije inspekcije ili drugi propisi ne propisuju ponovljeno zagrijavanje obrada nakon hladnog oblikovanja koja odgovara toplinskoj obradi koja je provedena u trenutku isporuke. Treba napomenuti da toplinska obrada za smanjenje naprezanja, ne ispravlja u potpunosti učinke hladnog oblikovanja [5].

4. Toplinska obrada

Općenito, čelici dobivaju svoja mehanička svojstva austenitizacijom nakon koje slijedi konvencionalno kaljenje i kaljenje. Izravno kaljenje nakon vrućeg valjanja smatra se ekvivalentom konvencionalnom kaljenju i popuštanju prema EN 10025 - 6. Toplinska obrada je uvjetovana kemijskim sastavom i debljinom materijala. Informacije o tome mogu se dobiti od proizvođača.

4. Zavarljivost čelika S690QL

Zavarljivost čelika visoke čvrstoće klase S690QL je relativno dobra. Međutim, za njegovo poboljšanje potrebne su neke posebne dodatne mjere, prvenstveno vezane uz potrebno predgrijavanje, kontrolirani unos topline tijekom zavarivanja i naknadnu toplinsku obradu zavarenog spoja. S obzirom na svojstva čelika o kojima je riječ, a to su sklonost stvaranju hladnih pukotina uslijed zavarivanja, predgrijavanje je obavezno, posebno kada se zavaruju komadi velikih presjeka. Na početku procjene zavarljivosti prvo treba izračunati ugljikov ekvivalent (CE) koji ukazuje na metaluršku zavarljivost tih čelika [5].

Table 3. Izračun ekvivalenta ugljika u S690QL [6]

Kemijski ekvivalent ugljika (%)			
Oznaka	Debljina u mm	$CEV = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr+Mo+V}{5} + \frac{Ni+Cu}{15}, \%$	$CET = C + \frac{Mn+Mo}{10} + \frac{Cr+Cu}{20} + \frac{Ni}{40}, \%$
S690QL	8	0.42-0.55	0.29-0.36
	20	0.43-0.55	0.29-0.36
	30	0.46-0.55	0.31-0.36
	60	0.57-0.55	0.35-0.36

Bitno je držati se sljedećih preporuka:

- predgrijati dijelove na 150-200°C,
- nizak sadržaj vodika u zavaru ($H < 5$ ml/100 g metala za zavarivanje),
- održavati temperaturu predgrijavanja kao i međuslojnu temperaturu,
- primjena dodatnog materijala s niskim udjelom ugljika (dodatni materijal čuvati na suhom mjestu prema uputama proizvođača),



- odrediti redoslijed zavarivanja kako bi smanjili zaostala naprezanja,
- čišćenje zavara u međuprolazima
- pripojni zavari moraju biti prema tehnološkoj dokumentaciji ovisno o debljini ploče. Pripojni zavari se tretiraju kao zavareni spoj ili se u suprotnom moraju u cijelosti ukloniti,
- prilikom pripreme spojeva ukloniti sve tragove masnoće i vode,
- ukloniti na rubovima sve okside i troske.

U slučaju čelika visoke čvrstoće S690QL, jedna od najvažnijih značajki uspješne zavarljivosti je linearna energija. Ako je ova vrijednost preniska, brzina hlađenja zavarenog spoja može biti prebrza i tada se mogu razviti hladne pukotine. U suprotnom slučaju, jaka krupno zrnata mikrostruktura može se razviti u zoni utjecaja topline, što može biti uzrokovano smanjenje svojstava čvrstoće i žilavosti. Potrebno je napomenuti da što manja linearna energija je korisnija na temelju iskustava, u slučaju čvrstoće zavarenog spoja, žilavost i zaostala naprezanja. Osim linearne energije, predgrijavanje i međuprolazna temperature su također značajne, tako da se kvaliteta spoja definira zajednički. U praksi, vrijeme hlađenja ($t_{8/5}$) može se koristiti za upravljanje ovim značajkama, koje također ima uzak raspon, u slučaju čelika S690QL općenito je 6 - 15 s [7]. U eksperimentalnom djelu vrijednost $t_{8/5}$ iznosila je 10s.

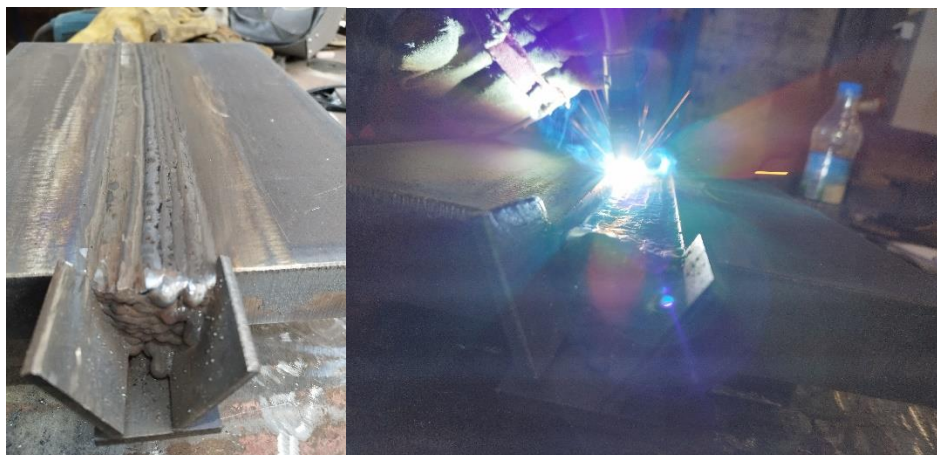
4.2 Predgrijavanje

Predgrijavanje je mjera koja je bila neophodna za zavarivanje razmatranog čelika, jer uklanja vlagu iz zavarenog spoja i produžuje vrijeme hlađenja zone toplinskog utjecaja (ZUT), čime se najčešće uklanja ili značajno smanjuje opasnost od pojave hladne pukotine. Minimalna temperatura predgrijavanja, preporučena je od strane proizvođača. Međutim, autori ovog rada na temelju vlastitih eksperimentalnih rezultata preporučuju temperaturu predgrijavanja u rasponu od 150 do 200°C (150°C za debljinu od 45 mm) kako bi predgrijavanje imalo pozitivan učinak na svojstva zavarenog spoja. Temperatura iznad 200°C se ne preporučuje jer može uzrokovati pogoršanje nekih mehaničkih svojstava.

5. Eksperimentalni dio zavarivanja (razne debljine i pozicije)

U eksperimentalnom dijelu radu ispitan je utjecaj temperature predgrijavanja i unosa topline kod MAG zavarivanja čelika S690QL. Provedenim ispitivanjima je utvrđen utjecaj promatranih parametara na oblik i dimenzije zavara, mikrostrukturu zavarenog spoja te udarni rad loma i tvrdoću. Ispitivanja koja su provedena odabrana su u skladu s međunarodni standardom ISO 15614-1:2017 2017 - Specifikacija i kvalifikacija postupaka zavarivanja za metalne materijale -- Ispitivanje postupka zavarivanja -- 1. dio: Elektrolučno i plinsko zavarivanje čelika i elektrolučno zavarivanje nikla i legura nikla - u skladu s dostupnim metodama i postupcima ispitivanja. U eksperimentalnom djelu provedena su sljedeća ispitivanja.

5.1. Ispitivanje na čeliku debljine 45mm



Slika 2. Zavarivanje čelika debljine 45 mm

Osnovni materijal je debljine 45mm kvalitete S690QL. Uz atest materijala od proizvođača je zatražen i poseban atest za dvoplastnost materijala. Ovaj atest se traži kod limova veće debljine zbog mogućih lamelarnih pukotina.

Ultraschallprüfbericht (UT)
Ultrasonic test certificate

Besteller: Salzgitler Mannesman Stahlhandel
Ordered by: Austro GmbH
Harter Str. 1a
8101 Gratkorn
Österreich
Prüfdatum: 20.10.2022
Date of testing: SHG
Prüfart: SHG
Place of testing: Bleche
Gegenstand: Bleche
Description:

Report-Nr.: 25077
Certificate-No.: 33758529
Supplier-No.: 6077201
Order-No.: Fr. Winkler
Sale: Werkstoff-Nr.: 1.8988
Material-No.:

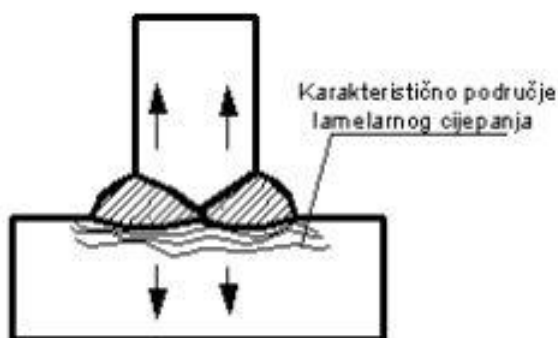
Pos.-Nr. (LAE)	Stück Pieces	Abmessungen (mm) / Dimension			Werkstoff Material	Schmelz-Nr. Heat-No	Tafel-Nr. Plate-No	Tafel-Nr. (Intern)
		Dicke/Thickness	Breite/Width	Länge/Length				
30	1	45	2000	3000	S 690 QL	42440	3760351	
40	1	40	1000	2000	S 690 QL	771539	400318012	
60	1	25	2000	2000	S 690 QL	608055	1835261	
70	1	20	2000	3000	S 690 QL	321754	2211466202	
120	1	22	1000	3000	S 690 QL	44353	4055761	
130	1	30	1000	2000	S 690 QL	492953	2435601	

Slika 3. Atest dvoplastnosti

5.1.1 Lamelarne pukotine

Lamelarne pukotine se vrlo teško uočava na konstrukciji, a njihovo otklanjanje je teško i skupo. Zato je procjena sklonosti čelika na nastanak lamelarnih pukotina važan faktor za ocjenu zavarljivosti. Danas problem lamelarnog odvajanja postaje predmetom širokih istraživanja posebno u industrijski razvijenim zemljama. Lamelarno odvajanje nastaje u zoni utjecaja topline i obično se širi prema osnovnom materijalu, a posljedica je postojanje nehomogenosti u osnovnom materijalu i djelovanja toplinskih naprezanja uslijed zavarivanja. Nehomogenosti su nemetalnih uključci tipa sulfida, silikata, oksida i dr. koji se u procesu valjanja čelika deformiraju u obliku pločica. lamela, ili se

linijski izdužuju, što uzrokuje anizotropiju osobina osnovnog materijala. Na slici 4. prikazano je karakteristično lociranje lamelarne pukotine u zavarenom spoju, dok na slici 5. je prikazan izgled deformiranog uključka nastalog nakon valjanja lima. Prevelik unos topline treba izbjegavati, jer uzrokuje jaka toplinska naprezanja pogodna za nastanak lamelarnih pukotina. Međutim dalja istraživanja su pokazala da stupanj ukrućenosti zavarenog spoja predstavlja jedan od najvećih problem na nastanak lamelarnih pukotina. Istraživanja su pokazala da lamelarne pukotine nastaju tijekom hlađenja zavarenog spoja na relativno niskim temperaturama. Međutim praksa je pokazala da se takve pukotine mogu pojaviti i poslije zavarivanja u eksploatacijskim uvjetima kao zakašnjele lamelarne pukotine [8]. Za ocjenu čelika na lamelarne pukotine koriste se metode sa i bez razaranja. Metoda bez razaranja koja je danas našla široku primjenu, jeste kontrola čelika ultrazvukom. Ultrazvučnim ispitivanjem mogu se odrediti lokalna mjesta raspodjele uključaka, odnosno najosjetljiviji dio lima koji se kasnije podvrgava ispitivanju sa razaranjem [8].



Slika 4. Prikaz lamelarne pukotine[8]



Slika 5. Izgled uključaka nakon valjanja lima[8]

Zavarivanje se vršilo prema WPS-u 03-TBLV-23-P

Parametri zavarivanja su prikazani u tablici 4.

Tablica 4. Parametri zavarivanja

Sample	Number WPS 03-TBLV-23-P	Preheating temperature 150°C	Pass	Current	Voltage	Welding speed	Heat input
			1	100-120	19-21	20-30	0,304-0,605
2-80	200-220	23-25	40-50	0,442-0,66			
80-90	210-230	24-26	40-50	0,484-0,718			
91	210-230	24-27	40-51	0,484-0,719			

Međuslojna temperatura je bila od 180-200 °C. Dodatni materijal je žica Bohler X70-ig čije su karakteristike prikazane na slici 6.



Društvo za tehniku
zavarivanja Slavonki Brod

12. Međunarodno znanstveno-stručno savjetovanje SBZ 2023

„STROJARSKE TEHNOLOGIJE U IZRADI ZAVARENIH KONSTRUKCIJA I PROIZVODA, SBZ 2023.“

Slavonski Brod, 26. i 27. 04. 2023. i Požega 28. 04. 2023.

bohlerwelding **BÖHLER X 70-IG**
Solid wire, low-alloyed, high strength

Classifications			
EN ISO 16834-A	EN ISO 16834-B	AWS A5.28	AWS A5.28M
G 69 5 M21 Mn3Ni1CrMo	G 76A 5 M21 3M1	ER110S-G	ER76S-G

Characteristics and typical fields of application
GMAW wire for the welding of high-strength, heat treated, fine-grained constructional steels with a minimum yield strength of 690 MPa.
Due to the precise addition of micro-alloying elements X 70-IG wire features excellent ductility and crack resistance in spite of its high strength.
Good cryogenic impact energy down to -50°C.

Base materials
High-strength fine-grained steels
S620Q, S620QL, S690Q, S690QL, N-A, XTRA M 700, aform® plate 620 M, aform® 700 M, aform® plate 700 M, aldur 620 Q, 620 QL, aldur 700 Q, 700 QL
ASTM A 514 Gr. F, H, Q; A 709 Gr. 100 Type E, F, H, Q; A 709 Gr. HPS 100W

Typical analysis of solid wire (wt.-%)							
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	V
wt.-%	0.1	0.6	1.6	0.25	1.3	0.25	0.1

Mechanical properties of all-weld metal					
Condition	Yield strength R _{eH}	Tensile strength R _m	Elongation A (L ₀ =5d)	Impact work ISO-V KV J	
	MPa	MPa	%	+20°C	-50°C
u	800 (≥ 690)	900 (770-940)	19 (≥ 17)	190	≥ 47
u	untreated, as welded – shielding gas Ar + 15 – 25% CO ₂				

Operating data

	Polarity: DC (+)	Shielding gases: Argon + 15 – 25% CO ₂	φ (mm) 1.0 1.2
--	---------------------	--	----------------------

Preheating and interpass temperature as required by the base metal.

Approvals
TUV (5547), DB (42.014.19), ABS (X), BV (LP), DNV (V Y69), GL (S Y69S), RMR (4Y69), SEPROZ, CE

Slika 6. Dodatni materijal za zavarivanje

Nakon zavarivanja uzorka provedena su sljedeća ispitivanja:

1. vizualna kontrola (VT),
2. ispitivanje magnetnim česticama (MT),
3. ispitivanje ultrazvukom (UT),
4. mehanička ispitivanja,
5. makro ispitivanje,
6. ispitivanje tvrdoće.

➤ Vizualno ispitivanje (Slika 7.)

Vizualnom metodom ispitivanja se mogu otkriti razne površinske pogreške: veće pukotine, neprovaren korijen, površinske poroznosti, te nepravilnosti oblika lica i korijena zavora.

➤ Ispitivanje magnetnim česticama (Slika 8.)

Metodom magnetskih čestica je moguće pronalaženje grešaka koje se nalaze na površini objekta ispitivanja ili neposredno ispod površine

➤ Ultrazvučno ispitivanje (Slika 9.)

Ispitivanje ultrazvukom je metoda za ispitivanje volumnih grešaka



Društvo za tehniku zavarivanja Slavonski Brod

12. Međunarodno znanstveno-stručno savjetovanje SBZ 2023

„STROJARSKE TEHNOLOGIJE U IZRADI ZAVARENIH KONSTRUKCIJA I PROIZVODA, SBZ 2023.“

Slavonski Brod, 26. i 27. 04. 2023. i Požeга 28. 04. 2023.

BUREAU DAKOVIC		IZVJEŠĆE O VIZUALNOM ISPITIVANJU		BROJ: VT-75/23	
CENTAR ZA ISTRAŽIVANJE I RAZVOJ d.o.o. SLAVONSKI BROD - HRVATSKA		VISUAL TEST REPORT		STRANICA 1 od 1	
NARUČITELJ: TÜV NORD Adriatic d.o.o. Zagreb	NARUČBA: 14.02.2023.	TIJEL: 11.07.2023 od 14.02.2023.	PREDMET: UZORAK ZAVARENOSG SPOJA ZA ATEST POSTUPKA ZAVARIVANJA	BROJ: MT-75/23	
MATERIJAL: OM / EN: S690QL1, t=45 mm	DM / EN: BOHLER X 740, Ø 1,0 mm	POVRŠINA: OČIŠĆENA	UDALJENOST GLEDANJA: 500-800 mm	BROJ: UI - 75/23	
APARATURA: LUMEXETAR, LAMPA, FOTOGRAFIJ	INTENZITET RASVJETE: 890 lx	TEMPERATURA: 20 °C	VRIJEME ISPITIVANJA: NAKON ZAVARIVANJA	STRANICA: Page 1 / 1	

Rezultati vizualnog ispitivanja: PRIHVATLJIVO prema EN ISO 5617: 2014, klasa B

Slika 7. Vizualno ispitivanje

BUREAU DAKOVIC		IZVJEŠĆE O ISPITIVANJU MAGNETNIM ČESTICAMA		BROJ: MT-75/23	
CENTAR ZA ISTRAŽIVANJE I RAZVOJ d.o.o. SLAVONSKI BROD - HRVATSKA		MAGNETIC PARTICLES TEST REPORT		STRANICA: Page 1 of 1	
NARUČITELJ: TÜV NORD Adriatic d.o.o. Zagreb	NARUČBA: 14.02.2023.	TIJEL: 11.07.2023 od 14.02.2023.	PREDMET: UZORAK ZAVARENOSG SPOJA ZA ATEST POSTUPKA ZAVARIVANJA	BROJ: UI - 75/23	
MATERIJAL: TVM - 42, Magnetni jaran	POVRŠINA: Očišćena-draining	TEMPERATURA: 21 °C	INTENZITET RASVJETE: 890 lx	STRANICA: Page 1 / 1	

Rezultati magnetnog ispitivanja: PRIHVATLJIVO prema EN ISO 23278: 2015.

Slika 8. Ispitivanje magnetnim česticama

BUREAU DAKOVIC		IZVJEŠĆE O ULTRAZVUČNOM ISPITIVANJU		BROJ: UI - 75/23	
CENTAR ZA ISTRAŽIVANJE I RAZVOJ d.o.o. SLAVONSKI BROD - HRVATSKA		ULTRASONIC EXAMINATION REPORT		STRANICA: Page 1 / 1	
NARUČITELJ: TÜV NORD Adriatic d.o.o. Zagreb	NARUČBA: 14.02.2023.	TIJEL: 11.07.2023 od 14.02.2023.	PREDMET: UZORAK ZAVARENOSG SPOJA ZA ATEST POSTUPKA ZAVARIVANJA	BROJ: UI - 75/23	
MATERIJAL: OM / EN: S690QL1, t=45 mm	DM / EN: BOHLER X 740, Ø 1,0 mm	POVRŠINA: Očišćena	UDALJENOST GLEDANJA: 500-800 mm	STRANICA: Page 1 / 1	

Rezultati ultrazvučnog ispitivanja: PRIHVATLJIVO prema EN ISO 11666 Acc. level 2: 2018.

Slika 9. Ultrazvučno ispitivanje

➤ **Mehanička ispitivanja (Slika 10)**

Rezultati ispitivanja mehaničkih svojstva - poprečno ispitivanje prijeloma, ispitivanje udarnog rada loma, prikazani su na slici 10. Provedba ispitivanja prikazana je na slici 11.

BUREAU DAKOVIC		IZVJEŠTAJ O MEHANIČKIM SVOJSTVIMA										BROJ: M-015/23		DATUM: 07.03.2023.									
CENTAR ZA ISTRAŽIVANJE I RAZVOJ d.o.o. SLAVONSKI BROD - HRVATSKA		MECHANICAL PROPERTIES REPORT										VEZA SA: M-015/23		DATE: 07.03.2023.									
OBJEKT: Olovač		PREDMET: Ispitivanja: For WPQR: PQR-6/23, položaj PA										RADNI NALOG: Work order:		MATERIJAL: S690QL		DIMENZJE: 45 mm							
NARUČITELJ: TÜV NORD Adriatic d.o.o., Zagreb		PROPIŠIVAJE: EN ISO 4136 EN ISO 5173, EN ISO 9016										MATERIJAL: S690QL		DIMENZJE: 45 mm									
OZNAKA EPRUVETE	ŠARŽA BROJ	POLOŽAJ UZORKA	DIMENZIJE EPRUVETE			SILA GRANICE RAZVALJAVANJA	SILA PREGODA	DIMENZIJE EPRUVETE			GRANICA RAZVALJAVANJA	VLAČNA ČVRSTOĆA	PRODUŽENJE	SUŽENJE	KUT SAVIJANJA	TVRDOĆA		UDARNA RADNJA LOMA					
			PRESEJAK	MJER. DUŽINA	MJER. DUŽINA			PRESEJAK	MJER. DUŽINA	PROSEJAKNA VRIJEDNOST						POLOŽAJ UZORKA	PRESEJAK	VRSTA PROBE					
			do, a	b	mm	Ni	N	mm	mm	mm	N/mm ²	N/mm ²	%	%	α°	HB	PROSEJAKNA VRIJEDNOST	POLOŽAJ UZORKA	PRESEJAK	VRSTA PROBE			
			mm	mm	mm	Ni	N	mm	mm	mm	N/mm ²	N/mm ²	%	%	α°	HB	PROSEJAKNA VRIJEDNOST	POLOŽAJ UZORKA	PRESEJAK	VRSTA PROBE			
1.1	42440/3760831		25,1	15,92	110	30624	321101			131	774	828,6	19,1		180°	40500	228	328	10 X 8	55	80	81	
1.2	42440/3760831		25,1	15,9	110	30346	304106			128,9	761,6	762	17,2				228	328	10 X 8	54	78		
1.3	42440/3760831		24,82	15,9	110	300195	323129			129,8	761,3	818,8	18				220	315	10 X 8	220	315		
2.1	42440/3760831		25,1	16,1	110	307931	330885			130	762	818,8	18,2				210	300	10 X 8	210	300	313,7	
2.2	42440/3760831		25,02	15,9	110	308014	309392			127,2	763,2	784	15,6										
2.3	42440/3760831		24,6	15,7	110	302012	324677			129,5	784,3	839,1	17,7										
BM – prekid na osnovnom materijalu						REQUIREMENTS EN 10025-6: 2004.						Min. 690		Min. 770		Min. 14 %							

Slika 10. Rezultati mehaničkih ispitivanja



Društvo za tehniku
zavarivanja Slavonski Brod

12. Međunarodno znanstveno-stručno savjetovanje SBZ 2023

„STROJARSKE TEHNOLOGIJE U IZRADI ZAVARENIH KONSTRUKCIJA I PROIZVODA, SBZ 2023.“

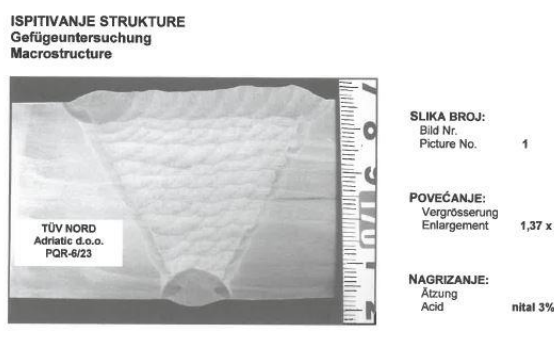
Slavonski Brod, 26. i 27. 04. 2023. i Požega 28. 04. 2023.



Slika 11. Provedba mehaničkih ispitivanja

➤ Ispitivanje makro strukture (Slika 12)

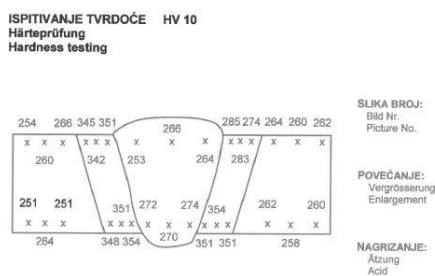
Ispitivanje makrostrukture i oblika zavarenog spoja koristi se za analizu utjecaja parametara zavarivanja na oblik, dimenzije i makrostrukture zavarenog spoja.



Slika 12. Ispitivanje makrostrukture

➤ Ispitivanje tvrdoće (Slika 13,14)

Ispitivanje tvrdoće provodi se po Vickersovoj metodi HV10, u skladu sa standardom ISO 9015-1.



Slika 13. Rezultati ispitivanja tvrdoće

Steel groups ISO/TR 15608	Non-heat treated	Heat treated
1 ^a , 2 ^b	380	320
3 ^b	450	380
4, 5	380 ^c	350 ^c
6	—	350
9.1	350	300
9.2	450	350
9.3	450	350

^a If hardness tests are required.
^b For steels with min $R_{eH} > 890$ MPa, special values shall be specified.
^c For certain materials, higher values may be accepted, if specified before the welding procedure test.

Slika 14. Dozvoljene vrijednosti tvrdoće (HV10) EN ISO 15614-1

Kao što je vidljivo za grupu 3 maksimalna vrijednost je 450, a na ispitnom uzorku je maksimalna izmjerena vrijednost u iznosu od 351.

6. Zaključak

Nakon provedenih ispitivanja dolazi se do zaključka da je najvažniji dio uz procjenu zavarljivosti i odabir dodatnog materijala kao i odabire metode i tehnologije zavarivanja. Provedbom svih ispitivanja navedenih u članku došlo se do optimalne tehnologije zavarivanja. Također cilj ovog rada je bio pokazati u kojoj mjeri predgrijavanje i parametri zavarivanja utječu na strukturu i mehanička svojstva čelika.

7. Literatura

- [1] <https://www.ssab.com/en/>
- [2] https://www.steel-plate-sheet.com/Sellinglist/mechanical-properties-of-en10025-6-18928-high-strength-s690ql-steel-plate_4510.html
- [3] EN 10025-6
- [4] <https://industeel.arcelormittal.com/>
- [5] ThyssenKruppSteelEurope
- [6] D. Arsić et al.: Application of the S690QL class steels in responsible welded structures
- [7] Ádám Dobosy^{1a}, János Lukács^{1,b} Welding properties and fatigue resistance of S690QL high strengthsteels
- [8] Doc.dr.sc Abaz Mandjuka, Mr.sc. Ante Čorić, Sklonost visokočvrstih čelika S960Q1 na pojavu toplih i lamelarnih pukotina.