



Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu - Tečaj stručnog usavršavanja
Izvedba i nadzor čeličnih konstrukcija prema HRN EN 1090-1/-2

Voditelj: izv.prof.dr.sc. Davor Skejić

Zagreb, 13. ožujka 2020.



Zavarivanje prema tehničkim zahtjevima za čelične konstrukcije

Izv.prof.dr.sc. Ivica Garašić

Fakultet strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu
Zavod za zavarene konstrukcije - Katedra za zavarene konstrukcije



Općeniti zahtjevi za zavarivanje u HRN EN 1090-2:2018

- Zavarivanje se provodi prema zahtjevima HRN EN ISO 3834
- U slučaju čelika za armiranje primjenjuje se HRN EN ISO 17660-1,2
- Klase izvedbe (EXC) direktno propisuju primjenu određene razine HRN EN ISO 3834:
- EXC1: Osnovni zahtjevi HRN EN ISO 3834-3
- EXC2: Standardni zahtjevi HRN EN ISO 3834-3
- EXC3 i EXC4: Složeni zahtjevi HRN EN ISO 3834-2
- **Postoje specifični zahtjevi!**



Klasa izvedbe
diktira zahtjeve
za kvalitetu i
zavarivanje!

Kakva je stvarna situacija u praksi?

- Iako proizvodne tvrtke „posjeduju” sve certifikate evo što se nalazi u praksi:



Koji su osnovni problemi?

- Ne nalazi se poveznice između klase izvedbe i shodno tome propisanih zahtjeva za zavarivanje (od projekta do izvedbe)
- Propisana klasa izvedbe je neizvediva za određenu situaciju
- Primjena zastarjele regulative i povučenih normi (npr. zavari S, I, II)
- Sustav postoji u obliku forme ali je sadržaj i praćenje proizvodnje uz zapise u potpunosti zanemaren (npr. zapisi VT za traženu klasu zavara prema HRN EN ISO 5817)
- Specifikacije postupaka zavarivanja i plan kontrole se ne mogu povezati s odgovarajućom konstrukcijom
- Često je slučaj da je certifikat samo „slika na zidu”!



Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu - Zagreb, 13.03.2020.

Tečaj stručnog usavršavanja: **Izvedba i nadzor čeličnih konstrukcija prema HRN EN 1090-1/-2**

Voditelj: izv.prof.dr.sc. Davor Skejić

Koji su osnovni elementi prema zahtjevima tehničke specifikacije za zavarivanje?

Klasa
izvedbe
EXC1,2,
3,4



HRN EN ISO 3834
Plan zavarivanja



Zavarivači i
specijalističko osoblje
(Zavarivanje, NDT)

Tehnologija
zavarivanja
(i NDT)

Posebni zahtjevi
(prijopi, ulazno-izlazne
pločice, rezanje)

Što sadrži plan zavarivanja sukladno određenoj razini HRN EN ISO 3834? (1)

- Specifikacije postupaka zavarivanja koje se odnose na odgovarajuće kvalificirane postupke zavarivanja i koje definiraju parametre zavarivanja, dodatne materijale, potrebno predgrijavanje ili toplinsku obradu
- Mjere za izbjegavanje deformacija tijekom i nakon zavarivanja
- Redoslijed zavarivanja i određivanje mjesta za nastavke na konstrukciji
- Zahtjeve za provjeru (temperatura međuprolaza, deformacije, dimenzije)
- Ukrute i mogućnost okretanja
- Mjere za izbjegavanje lamelnog raslojavanja



Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu - Zagreb, 13.03.2020.

Tečaj stručnog usavršavanja: **Izvedba i nadzor čeličnih konstrukcija prema HRN EN 1090-1/-2**

Voditelj: izv.prof.dr.sc. Davor Skejić

Što sadrži plan zavarivanja sukladno određenoj razini HRN EN ISO 3834? (2)

- Zahtjev za mjerama za kontrolu unosa topline s ciljem sprječavanja lokalnog otvrdnjavanja za kratke zavare
- Posebni zahtjev za „low hydrogen” dodatne materijale
- Dodatna obrada za nehrđajuće čelike
- Zahtjevi za kriterije prihvatljivosti
- Zahtjevi za označavanje zavara
- Zahtjevi za AKZ (vezano uz zavarivanje)

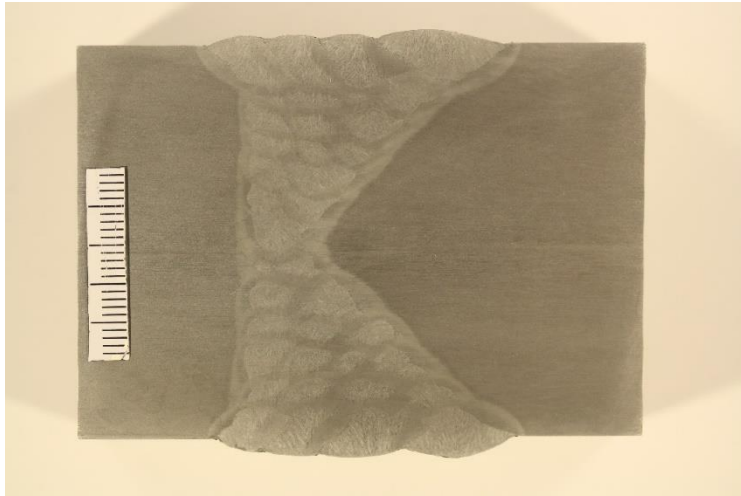
Kvalifikacija postupka zavarivanja

- Dokazivanje kvalitete zavarenog spoja i mehaničkih karakteristika na temelju propisane specifikacije zavarivanja
- Provodi se ispitivanje zavarenog uzorka sukladno zahtjevu odgovarajuće norme

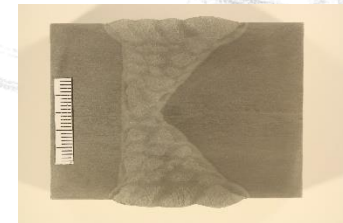
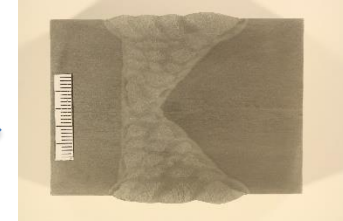
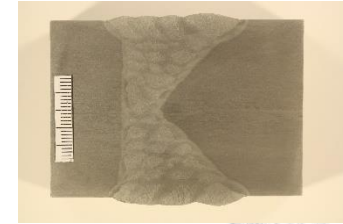
Način kvalifikacije		EXC2	EXC3, EXC4
Kvalifikacija na temelju standardnog zavarenog uzorka	HRN EN ISO 15614-1 Razina 2 HRN EN ISO 17660-1,2	X	X
Kvalifikacija na specifičnom uzorku/radnom komadu	HRN EN ISO 15613 HRN EN ISO 17660-1,2	X	X

Kvalifikacija postupka zavarivanja

- Dokazivanje kvalitete zavarenog spoja i mehaničkih karakteristika na temelju propisane specifikacije zavarivanja



Sljedivost tehnologije
prema kvalificiranoj
specifikaciji osigurava
mehanička i
eksploatacijska
svojstva konstrukcije!



Procedura pri uvođenju novog WPS-a u proizvodnju

Development of a preliminary pWPS



Qualification of the welding procedure by a method according to 7.4.1 (WPQR)



Preparing the **WPS** for production based on the relevant welding procedure qualification record (WPQR)



Početno ispitivanje tipa

Use of the **WPS** for the first 5 welds in production with NDT extent according to 12.4.2.2



Use of the **WPS** after the first 5 welds in production with NDT extent according to 12.4.2.3

Ispitivanje u proizvodnji

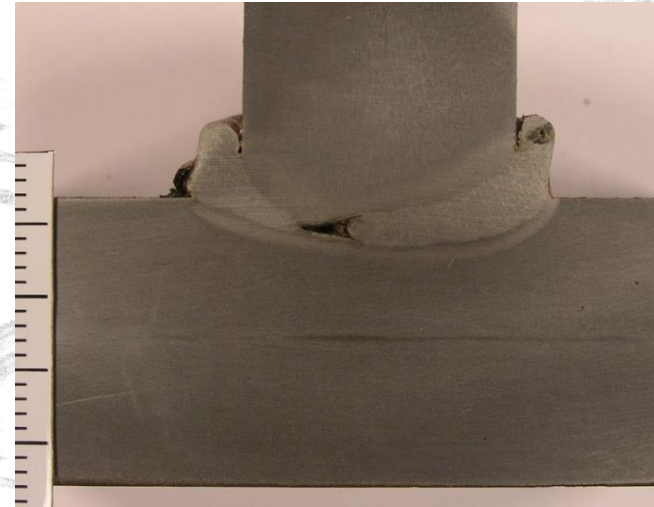
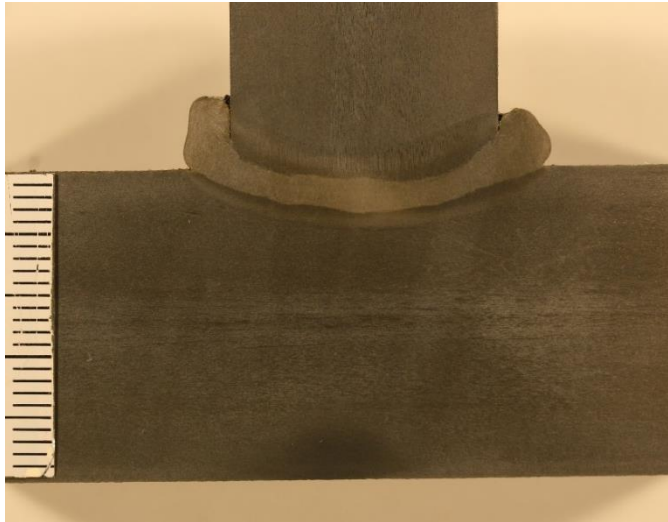
Zahtjevi za početno ispitivanje tipa (novi WPS)

- Za prvih pet spojeva koji su napravljeni prema specifikaciji odgovarajućeg novog WPQR-a vrijedi:
- Traži se razina zavora B za demonstraciju WPS-a u proizvodnim uvjetima
- Minimalna ispitana duljina je 900mm



Koja norma se primjenjuje za kvalifikaciju postupka zavarivanja svornjaka?

- Kvalifikacija postupka za zavarivanje svornjaka se provodi prema HRN EN ISO 14555
- Opseg ispitivanja se određuje prema razini zahtjeva HRN EN ISO 3834

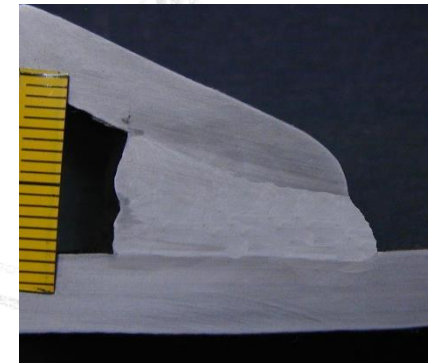
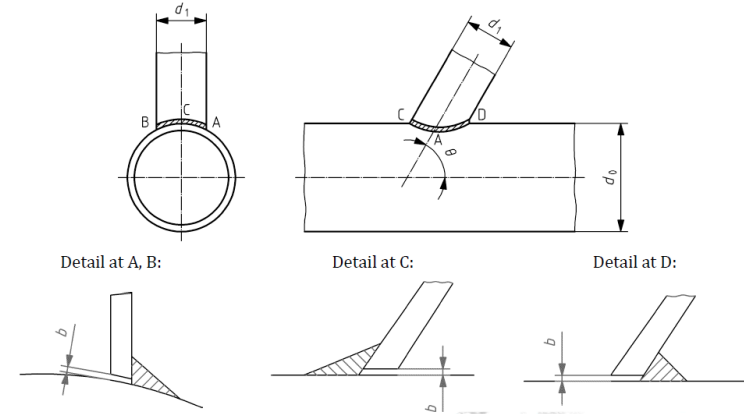


Kvalifikacija zavarivača / operatera

- Kvalifikacijom se dokazuje vještina za određenu kombinaciju postupka zavarivanja, oblika proizvoda, vrste spoja, vrste dodatnog materijala, debljine materijala (promjera cijevi), položaja zavarivanja, detalja izvedbe
- Kvalifikacija zavarivača se provodi prema HRN EN ISO 9606-1
HRN EN ISO 9606-1 135-D P BW FM1 S s12.0 PA ss nb
- Ako se izvodi mehanizirano/robotizirano zavarivanje onda je potrebno napraviti kvalifikaciju operatera sukladno HRN EN ISO 14732
- Važno je kontinuirano praćenje zavarivača u proizvodnji

Posebni zahtjevi za kvalifikaciju zavarivača na rešetkastoj konstrukciji

- Ako je kut manji od 60° kvalifikaciju je potrebno provesti na točno određenom tipu spoja i dimenzijama kakve se nalaze na predmetnoj konstrukciji
- Ispitni uzorci se uzimaju iz 4 pozicije za okrugle cijevi i 2 pozicije za kvadratne cijevi (Annex E)



Problemi kako to vide zavarivači

- Tehnologija nije dobro propisana i nije primjenjiva za određenu konstrukciju
- Specifikacije postupaka zavarivanja su forme radi i ionako ih nitko ne čita (tj. ne pridržava propisane tehnologije)
- Obzirom da vas nitko ne kontrolira možete raditi stvari koje se protive dobroj inženjerskoj praksi
- Ne postoje upute/smjernice o tome što znači klasa zavara B, C, D, kakve su posljedice ako se poveća/smanji unos topline, vrsta zaštitnog plina ili dodatni materijal
- Zašto se uopće predgrijava ako je vani $+30^{\circ}\text{C}$?



Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu - Zagreb, 13.03.2020.

Tečaj stručnog usavršavanja: **Izvedba i nadzor čeličnih konstrukcija prema HRN EN 1090-1/-2**

Voditelj: izv.prof.dr.sc. Davor Skejić

15



Koordinatori zavarivanja

- Koordinator zavarivanja predstavlja specijalističko osoblje koje je zaduženo za odabir, propisivanje i provedbu tehnologije u proizvodnji
- Znanje i kompetencije koordinator zavarivanja ovise i propisane su ovisno o klasi izvedbe (tj. debljini i vrsti materijala)
- Potrebna razina kompetencije postiže se edukacijom sukladno IIW/ESF smjernicama za razine IWE/IWT/IWS/IWP te IWIP
- Koordinator zavarivanja neophodni su i pri ocjeni izvedivosti projekta i ugovaranju sa stanovišta zavarivačke tehnologije i mogućih specifičnih zahtjeva



Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu - Zagreb, 13.03.2020.

Tečaj stručnog usavršavanja: **Izvedba i nadzor čeličnih konstrukcija prema HRN EN 1090-1/-2**

Voditelj: izv.prof.dr.sc. Davor Skejić

16



Koordinatori zavarivanja

EXC	Steels (steel group)	Reference standards	Thickness (mm)		
			$t \leq 25^a$	$25 < t \leq 50^b$	$t > 50$
EXC2	S235 to S355 (1.1, 1.2, 1.4)	EN 10025-2, EN 10025-3, EN 10025-4, EN 10025-5, EN 10149-2, EN 10149-3, EN 10210-1, EN 10219-1	B	S	C ^c
	S420 to S700 (1.3, 2, 3)	EN 10025-3, EN 10025-4, EN 10025-6, EN 10149-2, EN 10149-3, EN 10210-1, EN 10219-1	S	C ^d	C
EXC3	S235 to S355 (1.1, 1.2, 1.4)	EN 10025-2, EN 10025-3, EN 10025-4, EN 10025-5, EN 10149-2, EN 10149-3, EN 10210-1, EN 10219-1	S	C	C
	S420 to S700 (1.3, 2, 3)	EN 10025-3, EN 10025-4, EN 10025-6, EN 10149-2, EN 10149-3, EN 10210-1, EN 10219-1	C	C	C
EXC4	All	All	C	C	C

Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu - Zagreb, 13.03.2020.

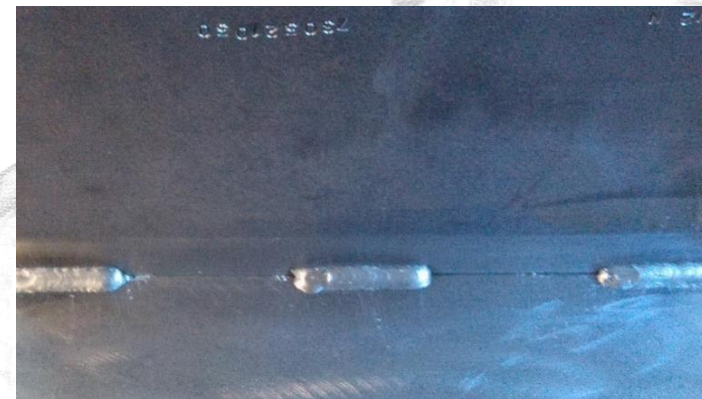
Tečaj stručnog usavršavanja: **Izvedba i nadzor čeličnih konstrukcija prema HRN EN 1090-1/-2**

Voditelj: izv.prof.dr.sc. Davor Skejić



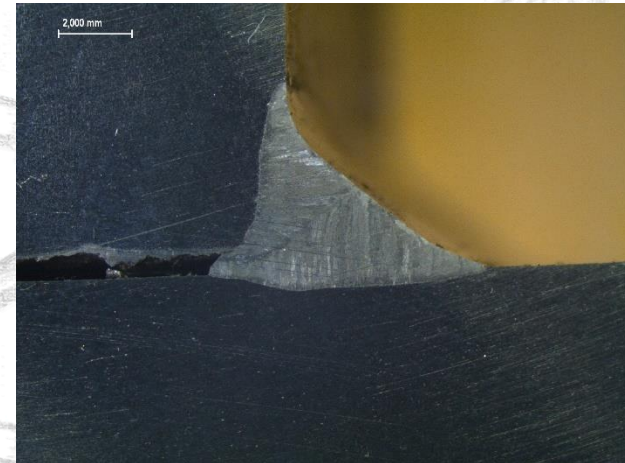
Tehnološke specifičnosti-pripoji

- Pripoji trebaju biti napravljeni po WPS-u koji se bazira na prikladnom PQR-u (tablica A.3 –kvalificirani PQR!)
- Minimalna duljina pripoja iznosi 4t (ili 50mm) osim ako se može dokazati da i su i kraći pripoji prikladni
- Sve pripoje koji ostaju u zavaru moraju zavariti kvalificirani zavarivači



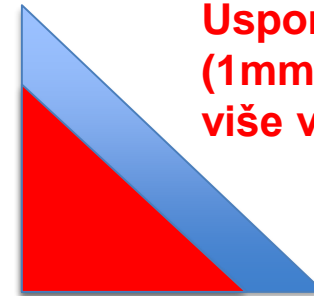
Tehnološke specifičnosti-kutni zvari

- Minimalno mora odgovarati propisanim dimenzijama a ili z
- Ako je preveliki zazor (h) mora se kompenzirati povećanjem $a = a_{nom} + 0,7h$
- Forsira se više bolja estetika nego homogenost i provar (naljepljivanje)



Tehnološke specifičnosti-kutni zavari

- Velik je problem u praksi definiranje i izvedba kutnih zavora
- Vrlo često se definira općenito $a=0,7t$ (ili $a=0,5t$) a ne razmatraju se tehnološki problemi (deformacije) i ne razrađuje se svaki zavar (sklop)
- Veća debljina zavora donosi nepotrebne deformacije i veći trošak zavarivanja
- Posebni zahtjevi za isprekidane zavarove



**Usporedba a4 i a5
(1mm debljine, 56%
više volumena)**

If the end of a component is connected only by longitudinal fillet welds, the length of each weld (L_{we}) shall not be less than 75 % of the transverse spacing between them (b) (see Figure 2).

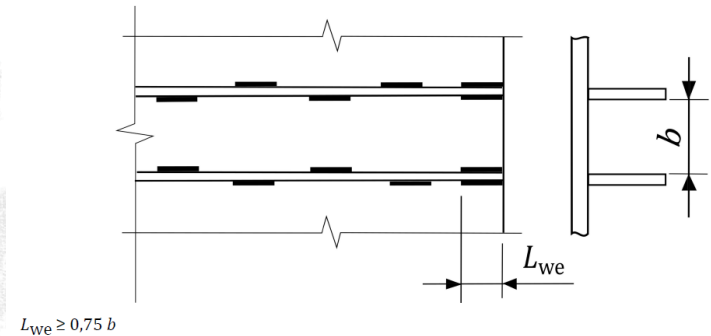


Figure 2 — Intermittent fillet welds

Tehnološke specifičnosti-sučeljeni zavari

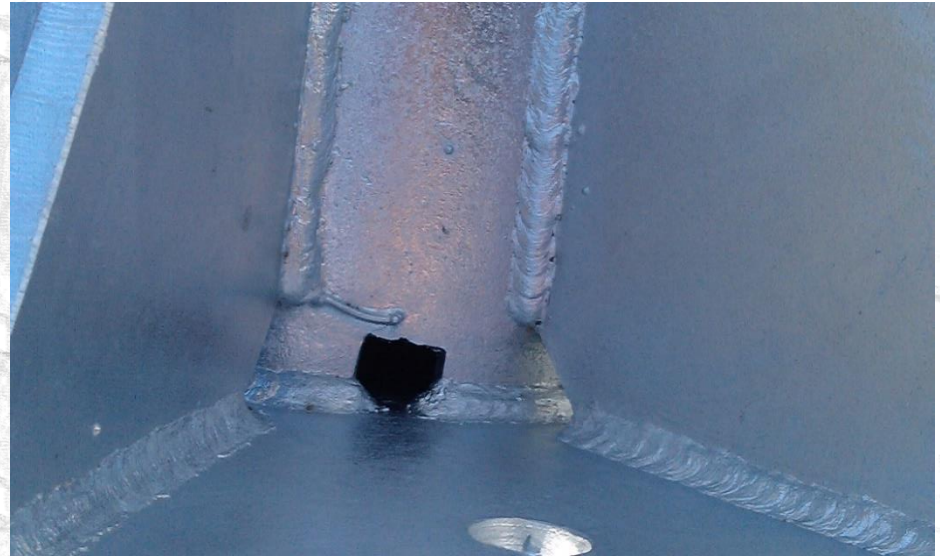
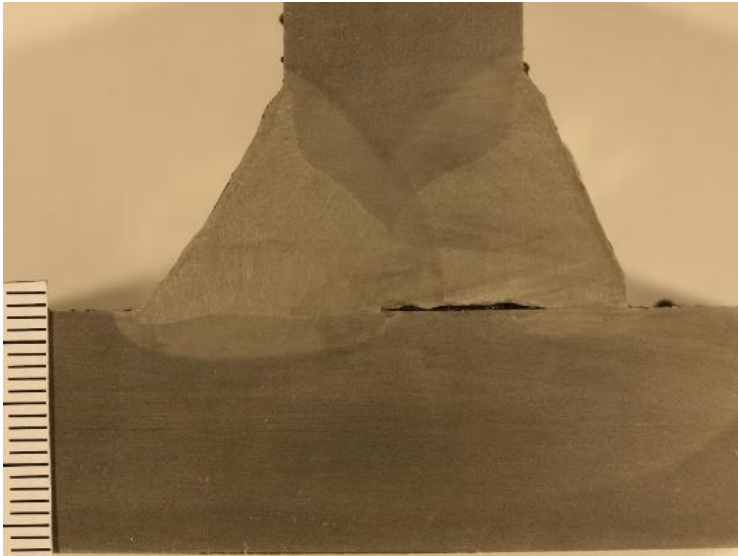
- Za EXC3 i EXC4 (te za EXC2) ako se traži puna penetracija moraju se koristiti ulazno-izlazne pločice (zavarljivosti kao i osnovnog materijala)
- Za metalne podloške Cev mora biti manji od 0,43%
- Parcijalna penetracija mora biti definirana!



Kriteriji prihvatljivosti-standardni zahtjevi

- Povezane su klase zavara HRN EN ISO 5817 sa klasama izvedbe
- EXC 1-klasa zavara D (osim nedovoljna debljina zavara koji je C klasa)
- EXC 2-klasa zavara C (osim preklopa, oštećenja od luka, završnog kratera koji su D te nedovoljne debljine zavara koja je B klase)
- EXC 3- klasa zavara B
- EXC 4- minimalno zahtjevi za EXC 3 sa dodatnom zahtjevima za određene zavarene spojeve

Kriteriji prihvatljivosti-standardni zahtjevi

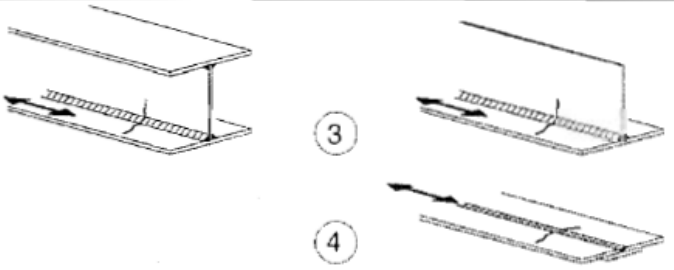


Kriteriji prihvatljivosti-dinamička naprezanja

- Ako su definirani zavareni spojevi dinamički napregnuti potrebno je za EXC 2, EXC 3 i EXC 4 sukladno HRN EN ISO 5817 Annex C definirati potrebne kriterije prihvatljivosti:
- DC ispod 63; razina C 63
- DC iznad 63, ispod 90; razina B 90
- DC iznad 90: ispod 125 razina B 125
- Potrebno je prema Tablici 8.1. do 8.8 (EN 1993-1-9) odrediti vrstu spoja (DC-detail category) kako bi se mogao odrediti odgovarajući kriterij prihvatljivosti

Kriteriji prihvatljivosti-dinamička naprezanja

■ Primjer: Razina prihvatljivosti B 125

112		<p>3) Automatic or fully mechanized fillet or butt weld carried out from both sides but containing stop/start positions.</p> <p>4) Automatic or fully mechanized butt welds made from one side only, with a continuous backing bar, but without start/stop positions.</p>	<p>4) When this detail contains stop/start positions category 100 to be used.</p>
-----	---	---	---

No.	Reference to ISO 6520-1	Imperfection designation	t mm	Limits for imperfections for quality levels		
				C 63 ^c	B 90 ^c	B 125
1.5	401	<u>Micro</u> lack of fusion	$\geq 0,5$	a	a	a
1.7	5011 5012	Continuous undercut Intermittent undercut	> 3	a	a	Not permitted
1.8	5013	Shrinkage groove	> 3	a	a	Not permitted
1.9	502	Excess weld metal (butt weld)	$\geq 0,5$	a	a	$h \leq 0,2 \text{ mm} + 0,1 b$, max. 2 mm

Provedba nerazornih ispitivanja nakon zavarivanja

Table 23 — Minimum hold times

		Hold time (hours) ^a	
If preheat is applied in accordance with Method A of EN 1011-2: 2001, Annex C			
Weld size (mm) ^b	Heat input Q (kJ/mm)	S275 – S460	Above S460
a or s ≤ 6	All	Cooling period only	24
6 < a or s ≤ 12	≤ 3	8	24
	> 3	16	40
a or s > 12	≤ 3	16	40
	> 3	24	48
If preheat is applied in accordance with Method B of EN 1011-2: 2001, Annex C			
Weld size (mm) ^b		S275 - S690	Above S690
a or s ≤ 20		Cooling period only	24
a or s > 20		24	48

Kada provesti NDT?



Provedba nerazornih ispitivanja nakon zavarivanja

- Vrijeme koje je proteklo između završetka zavarivanja i NDT mora biti navedeno u izvješću
- U slučaju kada je potrebno samo hlađenje NDT može početi kada se zavar ohladi na dovoljnu temperaturu za pojedinu NDT metodu
- Kod zavara koji se predgrijavaju ova vremena čekanja se mogu skratiti ako se zavar naknadno zagrijava (npr. za otpuštanje vodika)
- Ako je provedeno ravnjanje, zavari se moraju ponovno ispitati!

Određivanje opsega NDT kontrole ovisno o klasi izvedbe

- Svi zavari se moraju ispitati VT metodom u potpunom opsegu
- Za EXC 1, EXC 2 i EXC 3 specificiran je opseg dodatne NDT kontrole ovisno o debljini i vrsti zavora
- Za EXC 4, potrebno je definirati opseg za svaki pojedini zavareni spoj
- Za VT ne treba osoblje certificirano prema HRN EN ISO 9712



Određivanje opsega NDT kontrole ovisno o klasi izvedbe

Table 24 —Extent of routine supplementary NDT

Type of weld	Shop and site welds		
	EXC1	EXC2	EXC3 ^a
Transverse butt welds and partial penetration welds in butt joints:	0 % ^b	10 %	20 %
Transverse butt welds and partial penetration welds:			
— in cruciform joints	0 % ^b	10 %	20 %
— in T joints	0 %	5 %	10 %
Transverse fillet welds ^c :			
with $a > 12\text{mm}$ or $t > 30\text{mm}$	0 %	5 %	10 %
with $a \leq 12\text{mm}$ and $t \leq 30\text{mm}$	0 %	0 %	5 %
Full penetration longitudinal welds ^d between web and top flange of crane girders	0 %	10 %	20 %
Other longitudinal welds ^d , welds to stiffeners and welds specified in the execution specification as being in compression	0 %	0 %	5 %

Zahtjevi za popravak zavora

- Za popravak zavora se mora napraviti poseban WPS (EXC2, EXC3, EXC4)
- Popravljeni zavori moraju odgovarati karakteristikama originalnog spoja
- Voditi računa ako se popravak ne provodi isti postupkom!



Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu - Zagreb, 13.03.2020.

Tečaj stručnog usavršavanja: **Izvedba i nadzor čeličnih konstrukcija prema HRN EN 1090-1/-2**

Voditelj: izv.prof.dr.sc. Davor Skejić

Radne probe

- Sve kvalifikacije za čelike kvalitete iznad S460 potrebno je provjeriti radnom probom koja uključuje VT, PT ili MT, UT ili RT, tvrdoće i makro (rezultati moraju zadovoljavati HRN EN ISO 15614-1) –za određeni proizvodni prototip
- Kod kutnih zavora s punom penetracijom potrebno je provjeriti i dokumentirati penetraciju (makro)
- Posebni zahtjevi za mostove!

Dodatni zahtjevi-prevlačenje zavara TIG postupkom

- Zavareni spojevi se mogu pretaliti TIG postupkom
- Potrebno je definirati parametre i broj prolaza
- To je dodatni prolaz s unosom topline te takva tehnologija mora biti kvalificirana prema HRN EN ISO 15614-1 Razina 2



Priprema zavora za AKZ

- definirani zahtjevi za pregled površine koja se zaštićuje:
- Stupanj pripreme zavora, rubova i drugih površina se definira prema ISO 8501-3



Zahtjevi prema HRN EN ISO 17660-1

- Certifikacija pogona prema zahtjevima HRN EN ISO 3834-3
- Koordinator zavarivanja (za vrijeme prosudbe) moraju dokazati poznavanje tehnologije zavarivanja čelika za armiranje i provjere zavarivača i operatera
- Tehničko znanje koordinatora-prema zahtjevima EN ISO 14731 (i provedba specijalističke edukacije prema dokumentu EWF 544-01 za zavarivanje čelika za armiranje)
- Zavarivači i operateri kvalificirani prema zahtjevima norme EN 17660
- Za materijale je potrebno definirati vrijednost ekvivalenta ugljika, dokumentaciju o načinu proizvodnje i uvjetima isporuke

$$CEV = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15}$$

Zahtjevi prema HRN EN ISO 17660-1

- Ispitivanje u proizvodnji se provodi u stvarnim uvjetima pri čemu kvaliteta i svojstva spoja moraju odgovaraju WPQR-u
- Kod kontinuirane proizvodnje u radionici radnu probu bi trebalo provesti svaka tri mjeseca
- **Na gradilištu – jedna proba na početku svakog projekta i onda svaki mjesec**
- Ako jedan uzorak ne zadovoljava , potrebno je zavariti dva nova
- Najveći je problem u praksi organizacija i provođenje radnih proba jer to stvara dodatni trošak

Uzorci za provedbu radnih proba prema HRN EN ISO 17660-1



Zahtjevi za toplinsko rezanje

- posebno se upozorava da rubovi koji su odrezani i kasnije se ne zavaruju imaju utjecaj na dinamička svojstva konstrukcije
- sada je samo zahtjev da za čelike klase $\geq S460$ tvrdoća ne smije biti viša od 450HV10 (s time da je dana napomena da specifični zahtjevi mogu biti primijenjeni kada imamo dinamička opterećenja ili je materijal osjetljiv na vodikove pukotine)

Allg. Toleranzen / gen. tolerances
DIN ISO 2768-mK
Blechteile / metal sheet
DIN ISO 2768-cL
Brennschnitt / flame cut
DIN EN ISO 9013-231
Tolerierung / tolerance
DIN EN ISO 8015

Zahtjevi za kvalitetu toplinskog rezanja

Table 9 — Quality of the cut surfaces

Execution classes	Perpendicularity or angularity tolerance, u	Mean height of the profile, Rz5
EXC1	Cut edges to be free from significant irregularities and dross shall be removed	
EXC2	Range 5	Range 4
EXC3 and EXC4	Range 4	Range 4



Zahtjevi za ispitivanje toplinskog rezanja

- posebno se referira na Annex D za provjeru automatiziranog/mehaniziranog rezanja

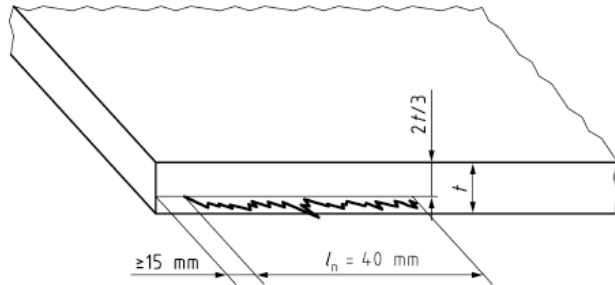


Figure D.2 — Location of surface roughness measure for straight flame cut



Zaključak

- ulazni parametar za određivanje zahtjeva za zavarivanje / toplinsko rezanje je klasa izvedbe
- treba biti svjestan dodatnih zahtjeva koji su definirani (pripoji, ulazno-izlazne pločice, rešetkaste konstrukcije)
- nužno je razraditi sve zavare na pojedinom sklopu sukladno odgovarajućoj specifikaciji zavarivanja i WPQR-u
- kutni zavari moraju biti dimenzionirani (a ili z) što je preduvjet za provedbu VT i usklađivanje prema HRN EN ISO 5817
- vrsta zavara i spoja određuju opseg NDT kontrole