

O ZAHTJEVIMA ZA SPRIJEČAVANJE KRHKOGA LOMA U HRN EN 13480-2 ,HRN EN 13445 , DODATAK B , METODA 2

Goran Vručinić, dipl.ing., IWE¹, Velimir Perkušić, dip.ing., IWE²

¹ goran.vrucinic@gmail.com

² TÜV Croatia d.o.o; vperkusic@gmail.com

Ključne riječi: zahtjevi, krhki lom, norme

Sažetak:

U radu se razmatra metoda 2 , HRN EN13480-2, odnosno HRN EN13445-2, zahtjevi za spriječavanje krhkoga loma, a koji se temelje na mehanici loma te radnih/praktičnih iskustava, primjenjivi na C-Mn i niskolegirane čelike sa granicom razvlačenja $\leq 500 \text{ N/mm}^2$.

Zbog čestih nesporazuma u praksi oko radne temperature i temperature Charpy testa prema projektnim krivuljama, u radu se povezuje povijest preporuka sa sadašnjim zahtjevima, te se iznose primjeri koji bi trebali pomici u ispravnom razumijevanju metode 2.

1 UVOD

Dodatak B norme specifizira tri moguće metode za postavljanje kriterija prihvatljivosti udarne radnje loma (žilavosti) zone zavara, a radi spriječavanja krhkoga loma konstrukcije .

U radu se razmatra metoda 2 , gdje se tehnički zahtjevi temelje na mehanici loma te radnih/praktičnih iskustava, primjenjivi na C-Mn i niskolegirane čelike sa granicom razvlačenja $\leq 500 \text{ N/mm}^2$, HRN EN13480-2, odnosno HRN EN13445-2.

Prema ovoj metodi, temperatura CHV (Charpy-V) testa „tKV „, nije jednaka projektnoj temperaturi „tR „, odnosno projektna temperatura može biti i niža.

Analizom havarija u povijesti čeličnih konstrukcija, CHV vrijednost od 20J kod temperature razmatranoga akcidenta mogla bi značajno umanjiti rizik od loma. Da bi se sigurnost „poboljšala“ , ustanovljena je vrijednost od 27J , što je usvojeno u mnogim normama , a u cilju minimiziranja opasnosti.

BWRA (British Welding Research Association), kasnije TWI (The Welding Institute) ranih šezdesetih izvodi niz testova – wide plate test (Wells, Burdekin, Woodly), nakon što su analizom lomova tlačne opreme u radu ili tijekom hidrostatskih proba uočili utjecaj debljine materijala i zavarivačkih zaostalih napetosti.

Tako su nastale prve projektne krivulje, slika 1, radi izbjegavanja krhkoga loma; korelirali su CHV prijelazne temperature sa testnom temperaturom zavarene ploče sa pukotinom, koja nije propagirala kod deformacije:

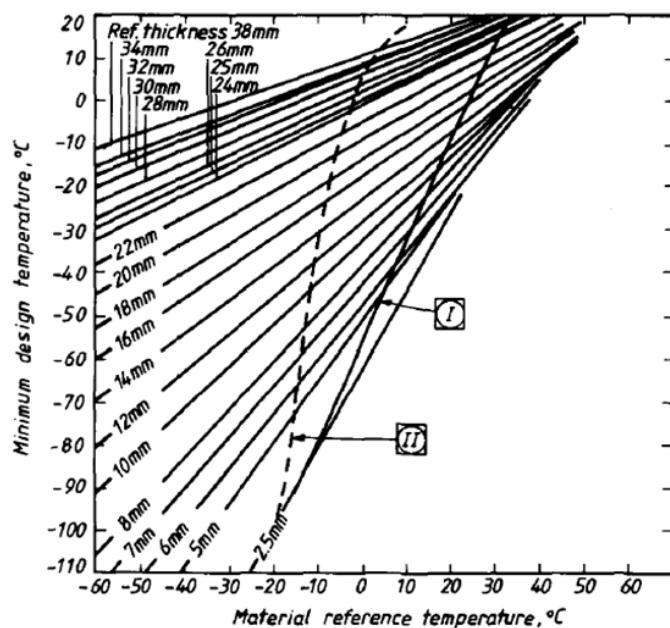
$$\varepsilon \sim 4\varepsilon_Y$$

Kod vlačnoga naprezanja uzorka sa pukotinom to je približno kod 0.5% plastične deformacije, što se smatralo da osigurava zadovoljavajući stupanj sigurnosti.

Prepostavka je dakle da CHV vrijednosti direktno koreliraju sa lomnom žilavošću pukotinske zone kod wide plate testa .

Analizirani su podaci sa 1182 wide plate testa.

Tako su slijedom nastajali : BS 1515 – BS 5500 – PD 5500.+



Slika 1 „Design curve“ – projektna temperatura vs referentna temperatura (1)

Metoda 2 , HRN EN 13480-2 , HRN EN 13445-2 , daju sličnu krivulju : radna temperatura – CHV testna temperatura – debljina materijala .

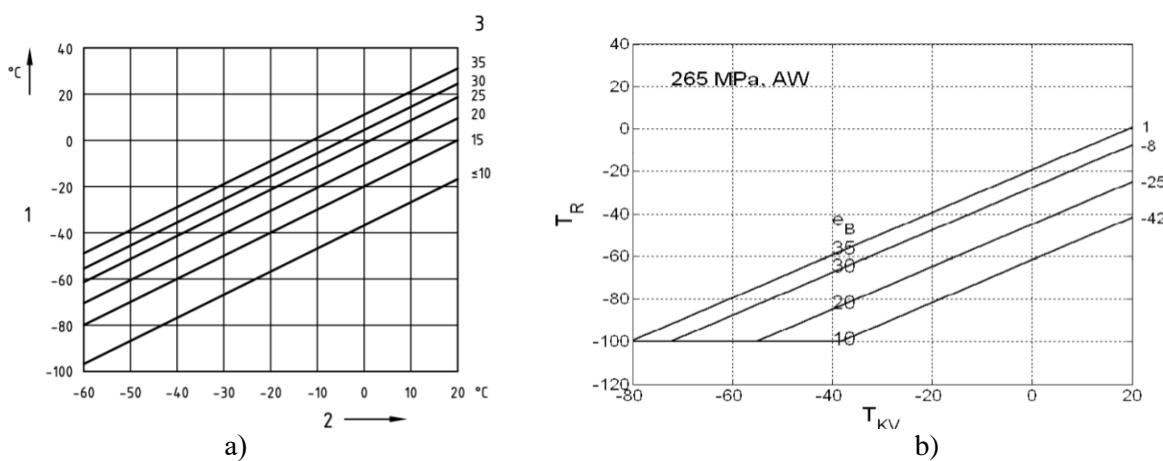
Za materijale $R_p \leq 355 \text{ N/mm}^2$ ostaje 27J kao zahtjev, za više čvrstoće 40J – za materijale ploče, vrijednosti se odnose na poprečni smjer. Vrijednosti za drugu orientaciju (npr.uzdužni smjer) zahtjeva korekciju vrijednosti prema normama.

2 METODA 2 , HRN EN 13480-2 , DODATAK B , HRN EN 13445-2

U radu ćemo analizirati zahtjeve na zavarene materijale sa $R_p \leq 265 \text{ N/mm}^2$, te $\text{CHV} = 27\text{J}$, dijagram B2-2 , slika 2 a-2002.g; slika 2b-2012g.

Slikama 2a i 2b željelo se istaknuti da se zahtjevi na zavarene spojeve i /ili materijale često revidiraju , te se u projektu dokumentaciji moraju istaknuti

godišta korištenih normi, osim ukoliko investitor inzistira na određenom godištu, a regulativa to dopušta.



Slika 2 t_{KV} – t_R dijagrami iz 2002.g a), 2012.g. b)

Evidentna je razlika između t_R temperatura – slika 2b zapravo je nastala na temelju HRN EN 13445-2 – identični su dijagrami, odnosno preuzet je dijagram te je ugrađen u EN 13480-2 -

Usporedimo slike 2a i 2b za materijale :

$$t = 15\text{mm} \quad t_{KV} = 0^\circ\text{C} \quad t_{KV} = -20^\circ\text{C}$$

$$\text{Slika 2a} \quad t_R \sim -20^\circ\text{C} \quad t_R \sim -40^\circ\text{C}$$

$$\text{Slika 2b} \quad t_R \sim -50^\circ\text{C} \quad t_R \sim -70^\circ\text{C}$$

Vidimo da projektna temperatura može biti značajno niža od CHV temperature testa; iako metoda 2 „slijedi“ metodologiju wide plate testova , koji su provedeni četrdesetak godina ranije , ovdje je projektna referentna temperatura t_R znatno niža , slika 2b .

Dr.K.Wallin i suradnici su prezentirali značajne tehničke podloge , gdje su obrađeni rezultati lomne žilavosti materijala (stress intensity factor K_I , K_{mat} , K_{IC}) , CHV vrijednosti materijala , te zatim izražena korelacija tih dvaju parametara materijala , za donji , prijelazni i gornji prag žilavosti.

U radu ćemo se poslužiti tim podlogama kako bi razmotrili razliku t_{KV} - t_R, kroz primjer prisustva neprovarenoga korijena u zavarenom spaju, kao greške koja je za određene klase kvalitete i dopuštena.

3 K_{mat} VS CHV NA TEMELJU BS 7910

Takav pristup je kasnije usvojen u britanskim normama (za primjer BS 7910) , te SINTAP programu.

Prema BS 7910 (4), lomna žilavost materijala, K_{mat} , je određena preko faktora intenziteta naprezanja.

Na temelju $B = 15\text{mm}$ i CHV 27J , $t_{\text{KV}} = -20^{\circ}\text{C}$, $T = -70^{\circ}\text{C}$, $\Delta T = -50^{\circ}\text{C}$, materijala P235GH , slika 2b, izračunati će se K_{mat} prema izrazu:

$$K_{\text{mat}} = 20 + [(12\sqrt{\text{CHV}-20})(25/B)^{1/4}]$$

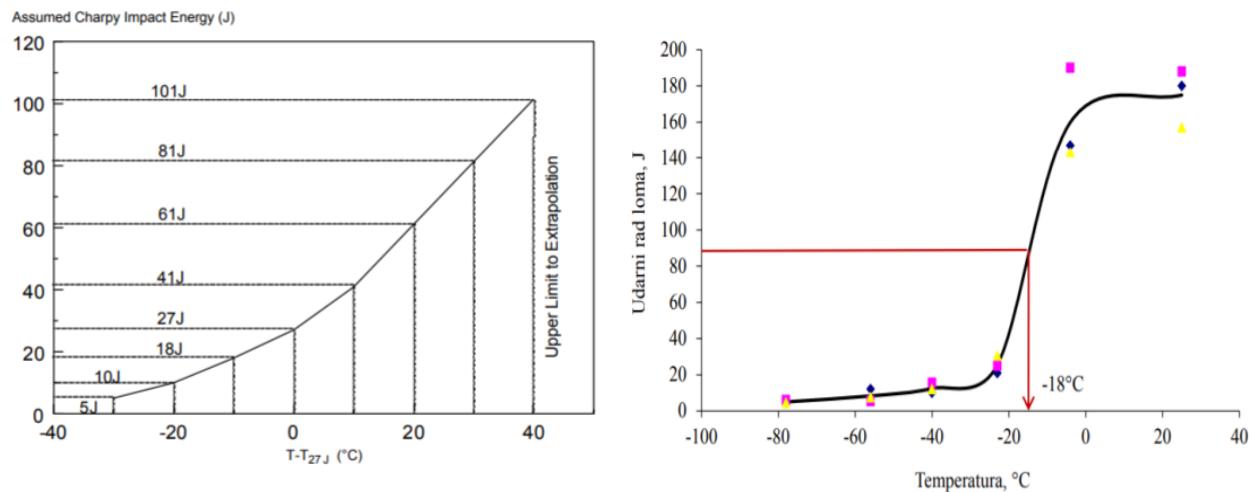
Koju vrijednost udarne radnje loma (žilavost CHV) uvrstiti? Prema slici 3, jasno je da se za temperaturu od -70°C radi o donjem pragu S krivulje žilavosti za C-Mn čelike 27J na temperaturi $t_{\text{KV}} = -20^{\circ}\text{C}$, je mnogo niža na -70°C .

Ekstrapolacijom dolazimo do 5J te :

$$K_{\text{mat}} = 20 + [(12\sqrt{\text{CHV}-20})(25/B)^{1/4}]$$

$$K_{\text{mat}} = 20 + [(12\sqrt{5-20})(25/15)^{0.25}]$$

$$K_{\text{mat}} = 27.76 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}} = 870.55 \text{ MPa}\sqrt{\text{mm}}$$



Slika 3 Peporučena metoda ekstrapolacije Charpy vrijednosti iznad ili ispod T_{27J} , /5/, tipična S krivulja za ugljični čelik /6/

4 POVRŠINSKA NEPRAVILNOST U MATERIJALU , a=1.5mm, $2c=l=9\text{mm}$

Zavarene konstrukcije/tlačna oprema, često se kontrolira metodama KBR-a u opsegu 5%, 10% ili 25% , zavisno od klase,norme,zahtjeva.

Neprovareni korijen navedenih dimenzija može se dakle „pronaći“ u zavaru u dijelu koji se ne kontrolira, ali i kao dozvoljena greška .

Dimenzije greške su 10% debljine materijala po dubini, te $6 \times 0.1B$ – duljina greške koju razmatramo.

$$K_{\text{mat}} = 20 + [(12\sqrt{CHV-20})(25/B)^{1/4}]$$

$$K_{\text{mat}} = 20 + [(12\sqrt{5-20})(25/9)^{0.25}]$$

$$K_{\text{mat}} = 28.81 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}} = 903.5 \text{ MPa}\sqrt{\text{mm}}$$

Faktor intenziteta naprezanja za površinsku pukotinu/nepravilnost :

$$K_I \sim 1.12 \sigma_{\text{max}} \sqrt{\pi a} \quad (4)$$

Prema pravilniku o tlačnoj opremi, maksimalno dozvoljeno naprezanje iznosi $0.67R_p$, odnosno 167.45 Mpa , a zaostala zavarivačka naprezanja se računaju da su jednaka granici razvlačenja materijala , te je :

$$\sigma_{\text{max}} = 167.45 + 235 = 392.45 \text{ MPa}$$

$$K_I \sim 1.12 \times 392.45 \times \sqrt{3.14 \times 1.5}$$

$$K_I \sim 954 \text{ MPa}\sqrt{\text{mm}}$$

HRN EN 13480-2, HRN EN 13445-2 : $K_I / K_{\text{mat}} = 954 / 903 > 1$

5 UMJESTO ZAKLJUČKA

Iz prakse, danas na tržištu imamo čelične proizvode koji često ne zadovoljavaju vrijednosti žilavosti navedene u certifikatu, naročito kod nižih temperatura; također je u praksi potvrđeno da čelici uglavnom imaju višu žilavost (CHV) od garantirane na T_{KV} temperaturi , kao i da se u projektnoj dokumentaciji rijetko projektira sa maksimalno dozvoljenim naprezanjem. Sve jedno, inženjer zavarivanja mora biti oprezan kada se želi materijal prihvati na znatno nižoj radnoj temperaturi od

T_{KV} , a temeljem navedenih projektnih krivulja , gdje vidimo da za relativno mala greška u spoju ne bi bila prihvatljiva kod tlačne opreme za opisane uvjete.

Također, ukoliko materijal nema 27J na minimalnoj radnoj temperaturi, a $K_{mat} \leq 1265$ MPa \sqrt{mm} , uključak troske širine $\sim 2mm$ (za $B=15mm$) ili poroznosti promjera $\sim 4mm$ se u analizi razmatraju kao ravninske nepravilnosti (4) , što dovodi u pitanje prihvatljivost greške, ali i metode.

Posebna je priča o tzv.neharmoniziranim materijalima, koje se „proglašava“ podobnima za upotrebu na temelju Posebnoga odobrenja za materijale, koji je često nedovoljno ozbiljno ili dobro shvaćen dokument , odnosno projektnih krivulja.

Čest je slučaj u praksi da se dolazi sa zahtjevom, a obrazloženjem da se štedi, da se „prizna“ 27J na ispitnoj temperaturi za nižu radnu temperatu.

U normama je zabilježena jedna napomena , koja se uglavnom ne čita:

„ ... najniža T_R temperatura se mora primijeniti kod određivanja T_{KV} temperature materijala ... „,

Kod Pravilnika o tlačnoj opremi to je jasno primijenjeno, te se vrijednost 27J zahtjeva kod najniže radne temperature.

EN norme kao i BS7910 podložni su reviziji, kako ranije, tako i ubuduće, no navedeni kriteriji i krivulje su bili ili su još relevantni, tako da su i odluke bile u nekom periodu u skladu sa time.

Stoga ovaj rad može poslužiti i za poređenje kod eventualnih izmjena ili dopuna kod slijedećih izdanja.

6 LITERATURA

- [1] M.G.Dawes,R.Denys : BS5500,Appendix D:An assessment based on wide plate brittle fracture test data , Int.J.Pres.Ves.&Piping,1984.
- [2] EN 13480-2 : Metallic industrial piping , Part 2 – Materials, 2012.
- [3] EN 13445-2 : Unifired pressure vessels, Part 2 – Materials,2014.
- [4] BS 7910 : Guide to methods for assesing the acceptability of flaws in metalic structures, 2013.+A1: 2015.
- [5] SINTAP,Sub-Task 3.3: Determination of fracture toughness from Charpy impact energy , 1998.
- [6] M.Perković,diplomski rad , FSB,2013.g.: Karakteristike žilaosti određene na zarezanim ispitnim uzorcima.
- [7] SKI Report 2005 :55 : Application of Master Curve Methodology for structural integrity assessments of nuclear components.