

# Ekperimentalna raziskava zvarnih spojev visokotrdnostnih konstrukcijskih jekel

Hajro Ismar<sup>1,\*</sup> – Zijah Burzic<sup>2</sup> – Nenad J.Kapor<sup>3</sup> – Tugomir Kokelj<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Univerza v Sarajevu, Fakulteta za strojništvo, Bosna in Hercegovina

<sup>2</sup> Vojno-tehnični institut, Beograd, Srbija

<sup>3</sup> Univerza v Beogradu, Fakulteta za strojništvo, Srbija

<sup>4</sup> Univerza za obrambo, Vojaška akademija, Beograd, Srbija

Žilavost postaja z razvojem področja lomne mehanike vse pomembnejša mehanska lastnost materialov, kakor tudi konstrukcijska spremenljivka. Žilavost je še posebej pomemben parameter pri novejših konstrukcijskih materialih kot so visokotrdnostna jekla. Ker se visokotrdnostna jekla uporabljajo predvsem v različnih varjenih konstrukcijah, postaja vse pomembnejše tudi vrednotenje neujemanja lastnosti zvarnih spojev, vključno z žilavostjo. V članku so predstavljeni rezultati raziskave porazdelitve in neujemanja udarne in kvazistatične žilavosti pri zvarnih spojih delov iz jekla visoke trdnosti.

Značilne heterogene cone zvarnih spojev so bile ugotovljene s pomočjo preizkusov in simulacij varjenja. Soležni zvarni spoji so bili izvedeni s pomočjo postopka MIG-varjenja dveh izbranih visokotrdnostnih konstrukcijskih jekel S690QL in S890QL. Ob upoštevanju dobro znanega dejstva, da je najšibkejši del zvara grobozrnata toplotno vplivana cona (CG-HAZ), so bili pripravljene dodatni preizkusi na osnovi simulacije toplotnih ciklov varjenja z največjo temperaturo 1300 °C in časom hlajenja  $Dt_{8/5}$  je 6 do 8 s, kar so ocenjeni parametri pri realnih zvarih. Zato so bile eksperimentalno preizkušene številne lastnosti osnovnega materiala (BM) in zvara (WM), kakor tudi toplotno vplivane cone (HAZ): omejena kemična sestava (ogljikov ekvivalent), trdota, natezna in udarna žilavost, ter kvazistatična žilavost. Na ta način so bili pridobljeni obsežni podatki o mehanskih lastnostih, ki dajejo dovolj podatkov za nadaljnjo regresijsko analizo in ugotavljanje razmerij med obravnavanimi lastnostmi. Podobno metodologijo in koncept analize (razmerja) podpirajo tudi številni raziskovalci v novejši literaturi.

Razen natančnega ovrednotenja mehanskih lastnosti so najpomembnejši rezultati pridobljeni v zvezi s porazdelitvijo splošnih lastnosti po srednjici zvarnega spoja, ugotovljena pa so bila tudi razmerja, ki so natančnejša in zanesljivejša od obstoječih podatkov v literaturi, namenjenih bolj splošni uporabi. V splošnem so bili zvari na obeh jeklih v stanju navzdolnjega neujemanja trdote in trdnosti v območju od 0,98 do 0,99, in z razmerjem žilavosti CG-HAZ, realne HAZ in WM glede na BM v razponu od 0,32 do 0,96. Najšibkejša žilavost je bila ugotovljena v območju CG-HAZ (do 0,32).

Izsledki in končne vrednosti ugotovljenih razmerij seveda veljajo samo za zvarne spoje visokotrdnostnih konstrukcijskih jekel z razredom trdnosti osnovnega materiala  $Rp_{0,2}$  je 690 do 890 MPa in v območju debelin BM od 20 do 30 mm. Tudi dejstvo, da so bili zvarni spoji ustvarjeni s postopkom talilnega varjenja (MIG), je treba upoštevati kot omejitev pri uporabi predstavljenih razmerij. Iz teh omejitev izhajajo določene zamisli o prihodnjih raziskavah v zvezi s pridobivanjem in uporabo prikazanih razmerij, ki vključujejo vsaj vpliv temperature, širši razpon debelin, druge varilne postopke in celo druge razrede trdnosti jekla.

Glavni prispevek raziskave je določitev razmerij med različnimi mehanskimi lastnostmi, zlasti udarno in kvazistatično žilavostjo, ki lahko pomaga pri poenostavljanju inženirskih napovedi. Rezultati bodo še posebej zanimivi za raziskovalce, ki ne razpolagajo s sofisticirano opremo in specializiranim osebjem za preizkušanje lomne mehanike. Predstavljeni splošni eksperimentalni postopek in rezultati prinašajo več zaupanja in zanesljivosti pri prihodnjih vrednotenjih zvarnih spojev, bodisi za kvalifikacijo varilnih postopkov, numerične simulacije varjenih konstrukcij iz različnih materialov, ali pa za splošno ocenjevanje integritete konstrukcij.

**Ključne besede:** visokotrdnostno jeklo, zvarni spoji, žilavost, porazdelitev, razmerja