

Enostopenjska toplotna obdelava za obnovo mehanskih lastnosti hladno deformiranega jekla za rudniške podpore 31Mn4

Gorazd Lojen^{1,*} – Janez Mayer² – Tonica Bončina¹ – Franc Zupanič¹

¹Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo, Slovenija

²Premogovnik Velenje, d. d., Slovenija

Jeklo 31Mn4 se pogosto uporablja za ločne rudniške podpore, tako v normaliziranem, vse pogosteje pa tudi v poboljšanem stanju + QT630 po DIN 21530-3. Za poboljšano stanje standard zahteva pri sobni temperaturi napetost tečenja $R_{p02} \geq 630$ MPa, natezno trdnost $R_m \geq 790$ MPa, razteznost $A_5 \geq 16$ % in udarno delo z DVM preizkušanci ≥ 75 J (75 J z DVM preizkušanci je približno enakovredno 80 J z ISO-V preizkušanci).

Najpomembnejša prednost ločnih podpor, sestavljenih iz segmentov iz profilov v obliki črke U je, da lahko segmenti loka pri prevelikem pritisku stene rova zdrsnejo eden po drugem. Pri tem se dodatno upognejo, prerez podpornega loka in pritisk nanj pa se zmanjšata. Tako se prepreči preobremenitev loka in podpora se ne poruši temveč ostaja funkcionalna, dokler je prerez rova dovolj velik ali dokler sposobnost drsenja segmentov ni izčrpana. Po demontaži se segmenti razdelijo v dve skupini: preveč poškodovani se takoj zavržejo, manj in dovolj enakomerno deformirani pa se lahko poravnajo in prevaljajo na ustrezen radij loka za ponovno vgradnjo. Hladne deformacije pri zdrsih segmentov med obratovanjem, ravnanjem in ponovnim valjanjem na potreben radij upogiba segmenta, utrajajo material in prej ali kasneje povzročijo prekomerno zmanjšanje duktilnosti. Zato se trenutno zavrže tudi precejšen delež tistih ločnih segmentov, ki bi jih bilo sicer še mogoče poravnati, vendar pa po popravilu ne bi več imeli zadostne duktilnosti. Trenutno v Premogovniku Velenje vsako leto zavržejo približno 3000 t segmentov jeklenih ločnih podpor. Ocenjujejo, da bi bilo približno 1/3, tj. okrog 1000 t, mogoče ponovno uporabiti, če bi bila na voljo zanesljiva in poceni toplotna obdelava, s katero bi jim povrnili ustrezno kombinacijo mehanskih lastnosti. V literaturi je mogoče najti precej poročil o raziskavah vplivov interkritičnega in subkritičnega žarjenja na sferoidizacijo perlita in povečanje duktilnosti različnih jekel. Poročil o raziskavah, povezanih z jeklom 31Mn4 je zelo malo, poročil o raziskavah, katerih cilj bi bil povrnitev natančno določene kombinacije mehanskih lastnosti hladno deformiranega poboljšane jekla s podkritičnim žarjenjem, pa nismo našli, ne za jeklo 31Mn4 na za druga jekla. Zato je bil cilj te raziskave oceniti izvedljivost stroškovno učinkovite enostopenjske toplotne obdelave za obnovo zahtevane kombinacije mehanskih lastnosti prekomerno hladno utrjenih poboljšanih jeklenih segmentov ločnih podpor.

Vzorci jekla 31Mn4 + QT630 so bili izrezani iz novega profila TH 29. Da smo ugotovili razmerje med stopnjo hladne deformacije in trdoto, so bili različno močno hladno deformirani v območju od 0 % do 45 %. Nato smo vzorce žarili od 30 min do 8 h pri temperaturah od 450 °C do 700 °C, da bi ugotovili primerne kombinacije časa in temperature žarjenja. S svetlobnim in elektronskim vrstičnim mikroskopom so bile pregledane mikrostrukture nedeformiranih, hladno deformiranih in rekristaliziranih vzorcev. Za vsa stanja so bile narejene tudi meritve trdote, natezni preizkusi in preizkusi udarne žilavosti po Charpyju. Mikrostruktura nedeformiranega materiala ni bila značilna za poboljšana jekla. Bila je zelo nehomogena in je vsebovala znatne deleže predevektoidnega ferita in perlita, ki so posledica neustrezno izvedene toplotne obdelave. Razteznost je bila nekoliko manjša od zahtev standarda, preostale mehanske lastnosti pa so bile ustrezne. Trdota je bila pod 250 HV 30. S hladno deformacijo se je trdota povečevala skoraj linearno, za približno 2 HV na 1 % hladne deformacije. To pomeni, da je mogoče enostavno in zanesljivo ugotoviti dejansko stopnjo hladne deformacije, če je poznana prvotna trdota. Po enurni rekristalizaciji pri temperaturah od 600 °C do 620 °C je bila mikrostruktura veliko bolj homogena. Sestavljena je bila iz feritne matrice, ki je vsebovala enakomerno razpršene globularne karbidne delce, kar je značilno za pravilno kaljena in popuščana jekla. Udarno delo KV pri Charpyjevem preizkusu ISO-V preizkušancev je bilo nad 90 J, podobno kot pred hladno deformacijo. Razteznost A_5 , napetost tečenja R_{p02} in trdota po Vickersu HV pa so bile pri večini vzorcev večje kot pred hladno deformacijo. S tem so rezultati potrdili, da je možno z ustrezno toplotno obdelavo v enem koraku obnoviti oz. celo izboljšati prvotne mehanske lastnosti prekomerno hladno deformiranega jekla 31Mn4+QT630. Ker se trdnost, duktilnost in udarna žilavost med rekristalizacijo pri močnejše deformiranem materialu spreminjata hitreje kot pri manj deformiranem, je mogoče parametre toplotne obdelave optimizirati tako, da se z istimi parametri povrnejo ustrezne lastnosti različno močno deformiranemu materialu. Z izvajanjem protokola obdelave, ki zajema določitev stopnje hladne deformacije in ustrezno enostopenjsko toplotno obdelavo, bi bilo mogoče povečati stopnjo ponovne uporabe segmentov jeklenih lokov, obenem pa zmanjšati stroške za nove profile in posredno zmanjšati vplive rudarjenja na okolje.

Ključne besede: mikrostruktura, deformacijsko utrjanje, mehanske lastnosti, rekristalizacija, jeklo 31Mn4, jeklo 1.0520, jekleni nosilci