

Fazne transformacije v visokolegiranem orodnem jeklu za delo v hladnem

Roman Moravčík^{1,*} – Mária Štefániková¹ – Roman Čička¹ –
Lubomír Čaplovič¹ – Karin Kocúrová¹ – Roman Šturm²

¹ Slovaška tehnična univerza, Fakulteta za materialne znanosti in tehnologijo, Inštitut materialnih znanosti, Slovaška

² Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo, Slovenija

Razvoj visokolegiranih orodnih jekel je pomemben zaradi doseganja boljših mehanskih in fizikalnih lastnosti materiala. Fazne transformacije imajo odločilen vpliv na končne mehanske lastnosti legiranih orodnih jekel. Visokolegirana jekla imajo v primerjavi z navadnimi ogljikovimi jekli drugačne pogoje strjevanja. Namen raziskave je bil popisati fazne transformacije v visokolegiranem orodnem jeklu za delo v hladnem, ki se zgodijo med počasnim segrevanjem in ohlajanjem. Taki pogoji so sicer drugačni kot med samo izdelavo orodnih jekel, vendar nam omogočijo popis strjevanja in faznih prehodov v neravnotežnih pogojih.

Visokolegirana orodna jekla ledeburitne vrste, narejena po postopku prašne metalurgije, vsebujejo veliko ogljika in legirnih elementov, predvsem vanadija, kroma in molibdena, ki tvorijo karbide. Glavne prednosti orodnih jekel, narejenih s postopkom prašne metalurgije, so homogena distribucija majhnih karbidov in homogena kemična sestava po prečnem prerezu orodja. Zaradi teh specifičnih lastnosti je orodno jeklo za delo v hladnem našlo širok nabor izdelovalnih aplikacij v različnih industrijah z namenom deformiranja, prebijanja, striženja.

Uporabljeno orodno jeklo za delo v hladnem je bilo izdelano s postopkom prašne metalurgije. Jeklo je imelo izjemno visoko obrabno odpornost, izredno žilavost in visoko tlačno trdnost. Za take izjemne mehanske lastnosti je odgovorna prava kombinacija legirnih elementov v jeklu z ustrezno toplotno obdelavo. Kemična sestava analiziranega jekla je vsebovala 2,47% C, 4,15% Cr, 3,62% Mo, 8,94% V in manjše deleže drugih legirnih elementov. Po fazi izostatskega sintranja je bilo orodno jeklo najprej kaljeno pri temperaturi 1100 °C, potem pa trikrat popuščano pri temperaturi 550 °C. S tako toplotno obdelavo smo dosegli enakomerno trdoto po preseku, in sicer 66 HRC. Visoka vsebnost vanadija pri tem zagotavlja dobro obrabno odpornost orodja.

Za določitev faznih prehodov v jeklu so bile uporabljene različne metode: diferencialna termična analiza (DTA), termo-magnetometrija (TM), optična mikroskopija, rastrska elektronska mikroskopija z analizatorjem razpršene energije (SEM + EDS), difrakcijska analiza z X-žarki, dilatometrija.

S pomočjo krivulje pridobljene z diferencialno termično analizo (hitrost segrevanja/ohlajanja je bila 10 K/min) in termo-magnetometrije smo ugotovili, da se jeklo strjuje v treh stopnjah. Strjevanje se začne z izločanjem avstenita pri 1340 °C. Temu sledita eutektični reakciji z nastajanjem vanadijevih karbidov pri 1327 °C in molibdenovih karbidov pri 1208 °C, s čimer se strjevanje zaključuje. Pri temperaturah okrog 830 °C pride do transformacije avstenita v ferit. Curiejeva temperatura magnetne premene tega jekla je pri 780 °C. Pri temperaturah okrog 500 °C nastanejo v trdni matrici sekundarni karbidi.

S pomočjo optične mikroskopije in SEM+EDS je bilo po izvedeni diferencialno-termični analizi ugotovljeno, da je mikrostruktura analiziranega jekla dendritna, pri čemer so dendriti napolnjeni s kolonijami eutektičnih karbidov. Kolonije eutektičnih karbidov so sestavljene iz vanadijevih karbidov in ferita. Na mejah dendritov so prisotne še nečistoče v obliki molibdenovih karbidov ter kompleksnih kromovih, vanadijevih in železovih sulfidov. Ločeno od tega smo z difrakcijsko analizo X-žarkov v mikrostrukturi potrdili naslednje faze: ferit, MC karbidi (vanadijev tip), M₂C in M₆C karbidi (molibdenov tip).

Poznavanje faznih transformacij v visokolegiranih orodnih jeklih za delo v hladnem nam pomaga pri boljšem razumevanju procesov, ki se dogajajo v materialu med toplotnimi obdelavami. Rezultati raziskave bodo uporabni v naslednjih termodinamičnih analizah faznih transformacij tega jekla z uporabo programov Thermocalc in DICTRA.

Ključne besede: visokolegirano orodno jeklo, delo v hladnem, diferencialna termična analiza, SEM, difrakcijska analiza z X-žarki, dilatometrija