

## Neporušitvena metoda za določanje napetosti v jeklenih komponentah po metodi vrtničnih tokov

Valentyn Uchanin<sup>1,\*</sup> – Sergej Minakov<sup>2</sup> – Giuseppe Nardoni<sup>3</sup> – Orest Ostash<sup>1</sup> – Sergej Fomichov<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Inštitut za fiziko in mehaniko Karpenko pri Nacionalni akademiji znanosti, Lvov, Ukrajina

<sup>2</sup> Politehnični inštitut v Kijevu, Kijev, Ukrajina

<sup>3</sup> I&T Nardoni Institute, Folzano, Brescia, Italija

Obremenitve in preostale napetosti lahko vplivajo na obratovalno stanje konstrukcij in komponent. Preostale napetosti po varjenju tako povzročijo krhki lom in razpoke zaradi napetostne korozije, ki lahko občutno skrajšajo utrujenostno trajnostno dobo varjenih konstrukcij. V članku je predstavljen razvoj metode po načelu vrtničnih tokov (EC) za določanje napetosti v komponentah iz feromagnetnega jekla na osnovi sprememb magnetne anizotropije pri feromagnetnih materialih pod obremenitvijo zaradi prerazporejanja magnetnih domen v povezavi z reverznim magnetostrikijskim (Villarijevim) efektom.

V tej raziskavi so bile obravnavane metode na osnovi magnetne anizotropije (MA) kot ena od različic metode EC. Razvita je bila nova vrsta napetostno občutljive sonde EC z delovnim premerom 18 mm, sestavljena iz po dveh identičnih vzbujalnih in zaznavalnih tuljav, postavljenih v oglišča štirikotnika. Pri tej sondi so vse tuljave nameščene na feritna jedra premera 4,3 mm. Vzbujalne tuljave sonde so vezane zaporedno in usmerjene tako, da ustvarjajo karakteristično nevtralno ravnino, v kateri je vertikalna komponenta skupnega elektromagnetnega polja enaka nič. Zaznavalni tuljavi sta orientirani tako, da sta občutljivi na vertikalno komponento elektromagnetnega polja in vgrajeni v nevtralni ravnini, kjer je ta komponenta pri izotropnih medijih enaka nič. Zasnova zagotavlja dvojni diferencialni signal.

Preizkušane dolžine 450 mm, debeline 8 mm in širine 60 mm je bil izdelan iz maloogljivega jekla (masna sestava v %: 0,10 C, 0,42 Si, 1,47 Mn). Preizkušane je bil pred obremenitvijo eno uro žarjen pri temperaturi 720 °C (pretežno feritna struktura z napetostjo tečenja  $\sigma_{YS} = 305$  MPa) za odstranitev morebitnih preostalih napetosti, nato pa je bil z njim izveden štiritočkovni upogibni preizkus. Sonda EC je bila nameščena na sredini preizkušanca, ki je bil obremenjen tako, da so nastale natezne in tlačne napetosti od 0 do 225 MPa. Sonda EC je bila v ta namen postavljena na različnih straneh štiritočkovno obremenjenega preizkušanca. Zabeleženi so bili hodografi odzivnega signala sonde EC v kompleksni ravnini pri delovnih frekvencah 5,0 kHz in 50,0 kHz. Izkazalo se je, da imajo hodografi za natezne in tlačne napetosti različne smeri v kompleksni ravnini, ta posebnost pa omogoča določanje vrste napetosti (nateznih ali tlačnih). Opredeljena je odvisnost amplitude signala sonde EC od nateznih in tlačnih napetosti pri delovni frekvenci 5,0 kHz med obremenjevanjem do 225 Mpa in nato med razbremenitvijo. Rezultati so pokazali visoko občutljivost dvojni diferencialne sonde EC na natezne in tlačne napetosti ter obstoj magneto-mehanske histereze.

Dva preizkušanca iz srednjeogljivega jekla (masna sestava v %: 0,66 C; 0,29 Si; 1,02 Mn; 0,12 Cr) sta bila dolga 150 mm, debela 3 mm in široka 30 mm. Uporabljena sta bila za preučitev vpliva mikrostrukture jekla na odzivni signal sonde EC v stanju natezne obremenitve. Prvi preizkušane je bil dve uri žarjen na temperaturi 830 °C in je imel pretežno perlitno strukturo ( $\sigma_{YS} = 560$  MPa). Drugi preizkušane je bil gašen v olju (začetna temperatura 830 °C), čemur je sledilo popuščenje (dve uri pri 380 °C). Struktura je bila pretežno troostitna ( $\sigma_{YS} = 1510$  MPa). Preizkušanci so bili obremenjeni na stroju za natezni preizkus do 500 MPa za dokaz invariantnosti metode MA glede na strukturo jekla. Rezultati študije so osvetlili potencial metode za merjenje napetosti neodvisno od strukture materiala, po čemer se nova metoda razlikuje od metod na osnovi koercitivnosti ali Barkhausnovega šuma.

Z metodo MA je bila tako opravljena analiza preostalih napetosti po varjenju in ocena napetosti v mostni jekleni konstrukciji med navarjanjem na stebre.

Prihodnje raziskave bodo usmerjene v lastnosti magneto-mehanske histereze za zmanjšanje napak.

**Ključne besede:** vrtnični tokovi, magnetna anizotropija, obremenitve in preostale napetosti, natezne napetosti, tlačne napetosti, magneto-mehanska histereza, varjenje, mostna konstrukcija