

Postopek reševanja inverznega problema za določitev toplotne prestopnosti med ukapljenim dušikom in obdelovancem iz Inconela 718 pri kriogenem odrezavanju

Matija Hriberšek^{1,*} – Viktor Šajn¹ – Franci Pušavec¹ – Joel Rech² – Janez Kopač¹

¹ Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo, Slovenija

² Univerza v Lyonu, Fakulteta za strojništvo Saint-Etienne, Francija

Cilj članka je prispevek k boljšemu razumevanju vpliva ukapljenega dušika, ki se uporablja kot hladilo pri odrezavanju, na prestop toplote v Inconelu 718. V raziskavah je bila definirana toplotna prestopnost med ukapljenim dušikom in površino obdelovanca v odvisnosti od faze dušika. Uporabljeni material je bil Inconel 718, ki je visoko temperaturna zlitina niklja in kroma z izjemnimi mehanskimi in termičnimi lastnostmi in se uporablja v izdelkih z visoko dodano vrednostjo. Raziskava je bila izvedena na podlagi nepoznavanja natančnih vrednosti za toplotno prestopnost za omenjen kriogen fluid, saj so bile v dosedanjih raziskavah podane zgolj okvirne vrednosti.

Članek pojasnjuje razlike v vrednostih med toplotno prestopnostjo za kapljevito in plinasto fazo dušika v odvisnosti od razlike temperatur (ukapljen dušik-površina plošče iz Inconela 718). Cilj raziskave je bil dosežen z opravljenimi eksperimenti merjenja temperature s termoelementi v Inconelu 718, ob prehodu curka z ukapljenim dušikom čez ploščo. Nato je bila zasnovana numerična simulacija z uporabo končnih elementov, ki je popisala razmere pri eksperimentu. Glede na ujemanje padcev temperatur v materialu pri eksperimentu in numerični simulaciji, smo določili toplotno prestopnost v simulaciji med ukapljenim dušikom in površino Inconela 718, kar je bila procedura reševanja inverznega problema. Pristop k reševanju inverznega problema je bil eksperimentalno analitičen, saj se je uporabljalo eksperimentalno in analitično metodo (numerična simulacija) pri razreševanju problema prevoda toplote skozi ploščo iz Inconela 718.

Rezultati so potrdili, da toplotna prestopnost med ukapljenim dušikom in površino obdelovanca iz Inconela 718 ni konstantna vrednost, ampak pada z naraščajočo temperaturo kriogenega fluida. Dobljeni rezultati potrjujejo že določene intervale vrednosti za toplotno prestopnost, katera doseže maksimalno vrednost, pri razliki temperature med kriogenim fluidom in površino obdelovanca okoli 196 K ($h = 75000 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$). Ta pojav se zgodi, ko je prisotna kapljevita faza dušika. Razpon v razliki temperatur med utekočinjenim dušikom in površino plošče (180 K in 120 K) glede na vrednosti za toplotno prestopnost nakazuje, da je bila prisotna mešana faza dušika. Medij izgubi hladilni vpliv, ko preide v plinasto fazo ($\Delta T = 100 \text{ K}$, $h = 1500 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$), kar opredeljuje naravno konvekcijo zraka. Iz rezultatov raziskav se da tudi razbrati, da je vpliv toplotne prestopnosti očitno zmanjšan zaradi mehurčkastega vrenja, ki se pojavi pri plinasti fazi dušika, saj ima omenjena faza zelo nizko toplotno prevodnost ($\lambda = 0.03 \text{ W}/(\text{mK})$). V primeru, da se hladilni učinek medija vrednoti glede na obliko površine, na katero je bil ukapljen dušik usmerjen, je simulacija omejena le na ravno površino in ne na obdelovance ostalih oblik. Z uporabljenimi podobnimi hitrostmi pomika šobe in z upoštevanjem majhne površine, na katero je bil usmerjen tok fluida, se je želelo simulirati in približati stopnji podhladitve v materialu pri enem obratu struženja in jo nato posplošiti na kontinuiran odrezovalni postopek.

Glede na mnogo višje vrednosti pri toplotni prestopnosti za kapljevito fazo ($h = 75000 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$), proti toplotni prestopnosti, ko se medij nahaja v plinasti fazi ($h = 10000 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$), ima kapljevita faza mnogo večji hladilen učinek na material. To je glavni doprinos, saj je v preteklih objavah moč zaslediti le podane intervalne vrednosti za toplotno prestopnost za omenjen kriogen fluid.

Članek je aplikativne in znanstvene narave in bo odločilno prispeval k večjemu razumevanju vpliva ukapljenega dušika na obdelovalnost materiala, saj se le ta uporablja kot hladilo pri odrezavanju in prispeva k boljši integriteti površine po obdelavi (hrapavost površine, zaostale napetosti, ipd.).

Ključne besede: ukapljen dušik, kriogeno odrezavanje, inverzen problem, merjenje temperature, numerična simulacija, toplotna prestopnost

*Naslov avtorja za dopisovanje: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo, Aškerčeva 6, 1000 Ljubljana, Slovenija, matija.hribersek@fs.uni-lj.si