

VISOKOTEMPERATURNO VAKUUMSKO SPAJKANJE HITROREZNIH ORODNIH JEKEL NA KONSTRUKCIJSKA, Z ISTOČASNO TOPLOTNO OBDELAVO V VAKUUMSKI PEČI

V. Leskovšek in D. Kmetič, Inštitut za kovinske materiale in tehnologije, Lepi pot 11, 61111 Ljubljana

HIGH TEMPERATURE VACUUM BRAZING OF HSS ON CONSTRUCTION STEEL, WITH SIMULTANEOUS HEAT TREATMENT

Abstract

In view of leading high temperature vacuum brazing process, at the austenitization temperature of HSS, it makes possible to carry out high temperature vacuum brazing of HSS on construction steel, with simultaneous heat treatment.

Advantages of this process are increased strength of brazed joints, increased toughness of carrying part, optimum hardness and cutting edges strength for a given combination working part/cutting tool.

Povzetek

S postopkom visokotemperaturnega vakuumskega spajkanja hitroreznih orodnih jekel na konstrukcijska in z istočasno toplotno obdelavo v vakuumski peči smo izdelali kakovostna rezilna orodja. Prednost tako izdelanih rezilnih orodij je doseganje želene žilavosti nosilnega dela iz konstrukcijskega jekla in optimalne trdote rezila iz hitroreznega jekla za dano kombinacijo del/orodje.

1 UVOD

Visokotemperaturno vakuumsko spajkanje je spajanje kovinskih delov z dodatnim materialom brez uporabe talil v vakuumu pri temperaturah nad 900°C, vendar pod tališčem kovin, ki naj bi jih spojili.

Rezultati tega načina spajanja so kakovostni spoji z visoko vezno trdnostjo, ki lahko v mnogih primerih doseže trdnost osnovne kovine (npr. jekla, nikljevih ali kobaltovih zlitin) /1/.

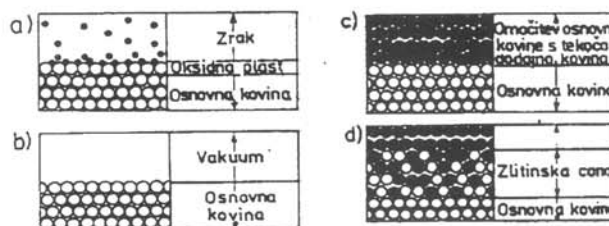
Postopek visokotemperaturnega vakuumskega spajkanja v enokomorni vakuumski peči IPSEN VTC-324R s homogenim plinskim hlajenjem pod visokim tlakom vodimo že v območju avstenitizacije hitroreznih orodnih jekel. To omogoča v istem ciklusu visokotemperaturno vakuumsko spajkanje hitroreznih orodnih jekel na konstrukcijska in istočasno toplotno obdelavo v vakuumu.

Prednost tako izdelanih rezilnih orodij je predvsem v doseganju želene žilavosti nosilnega dela iz konstrukcijskega jekla, ob doseganju optimalne trdote rezila iz hitroreznega jekla za dano kombinacijo del/orodje. Takšno kombinacijo mehanskih lastnosti rezilnega orodja, izdelanega po klasičnem postopku iz hitroreznega jekla, je možno doseči le z dodatno toplotno obdelavo delnega popuščanja. Druge prednosti visokotemperaturnega vakuumskega spajkanja pa so še v prihranku energije, dragih orodnih jekel in čiščenju.

2 MEHANIZEM VISOKOTEMPERATURNEGA VAKUUMSKEGA SPAJKANJA IN DEJAVNIKI, KI VPLIVAJO NA TRDNOSTNE LASTNOSTI SPAJKANEGA SPOJA

Slika 1 shematsko prikazuje mehanizem visokotemperaturnega vakuumskega spajkanja. Na površini kovine se absorbirajo molekule preostale atmosfere. Kisik reagira s kovino in tvori oksidno plast na površini - slika 1a. Med spajkanjem so privlačne sile na površini kovine zasičene, izoblikovana oksidna plast pa preprečuje stik med površino kovine in dodatnim materialom. Za odstranitev oksidne plasti uporabljamo talilo oziroma spajkanje izvršimo v zaščitnem plinu ali vakuumu in na ta način preprečimo nastanek oksidne plasti.

V vakuumu so na površini kovine nezasičene privlačne sile, ker ne pride do oksidacije - slika 1b. Tekoča dodatna kovina omoči površino kovine ob delovanju adhezijskih privlačnih sil med obema gradnikoma spoja - slika 1c. Ta adhezivna prevleka je ojačana z medsebojno difuzijo elementov iz osnovne kovine in dodatne kovine - slika 1d /1,2/. Med ohlajanjem se dodatni material strdi, njegova kohezivna odpornost



naraste.

Slika 1. Mehanični mehanizem visokotemperaturnega vakuumskega spajkanja

Mehansko trdnost spoja ocenjujemo z doseganjem kohezivne in adhezivne odpornosti, ki jo merimo z nateznim preizkusom.

Trdnost dodatnega materiala je eden od glavnih dejavnikov, ki vpliva na trdnostne lastnosti spajkanega spoja. Trdnostne lastnosti surovo litega dodatnega materiala so direktno merilo za trdnostne lastnosti spoja /1/.

Pri spoju z ozko špranjo se pojavi visok tlak polnjenja. Ob upoštevanju trdnostnih lastnosti spajkanega spoja mora biti tudi širina špranje ozka /1/. Za spajkanje s talili lahko rečemo, da preozka špranja odseva v nižji

natezni trdnosti. V tem primeru nimamo zadostne količine talila v špranji, da bi odstranili oksidno plast, prav tako pa je omejen tudi tok dodatnega materiala. Posledica je zelo slaba kakovost spoja /1/.

Ti problemi pa se ne pojavljajo pri spajkanju brez talila, kjer dosežemo najvišjo natezno trdnost pri spoju s širino špranje do $100 \mu\text{m}$ /3/.

Natezna trdnost spajkanega spoja narašča z naraščanjem natezne trdnosti osnovne kovine, če sta druga dva pogoja, kot dodatni material in širina špranje, konstantna.

Natezna trdnost osnovne kovine ne vpliva na strižno trdnost spajkanega spoja. V tem primeru so prevladujoče samo lastnosti dodatnega materiala. Natezna trdnost spoja se zmanjša z naraščanjem kontaktne površine spajkanja. To lahko razložimo z verjetnostjo naraščanja deleža plinskih mehurčkov v sloju spajke pri naraščanju kontaktne površine, še posebej, če narašča tudi pot toka dodatnega materiala /1/.

Nosilnost dela vsekakor narašča s povečevanjem kontaktne površine spajkanja. Da bi dosegli zaželene trdnostne lastnosti spoja je nujno, da izberemo točno temperaturo spajkanja. Če je temperatura spajkanja prenizka, dodatni material ne bo tekel in omočil površine ter se ne bo vezal na osnovno kovino /3/.

Nasprotno pa temperatura spajkanja ne sme biti previsoka zaradi možnosti izparevanja legirnih elementov v dodatnem materialu ali neželenih sprememb osnovne kovine.

Raziskave so pokazale, da se trdnostne lastnosti spoja močno znižajo že pri najmanjših količinah nečistoč v dodatnem materialu. Spajka postane krhka zaradi tvorbe krhkih plasti med dodatnim materialom in osnovno kovino. Iz tega razloga so dovoljene nečistoče v dodatnem materialu za visokotemperaturno spajkanje omejene na skupno 0,1%, največja dovoljena vsebnost aluminija pa na 0,005% (DIN 8513).

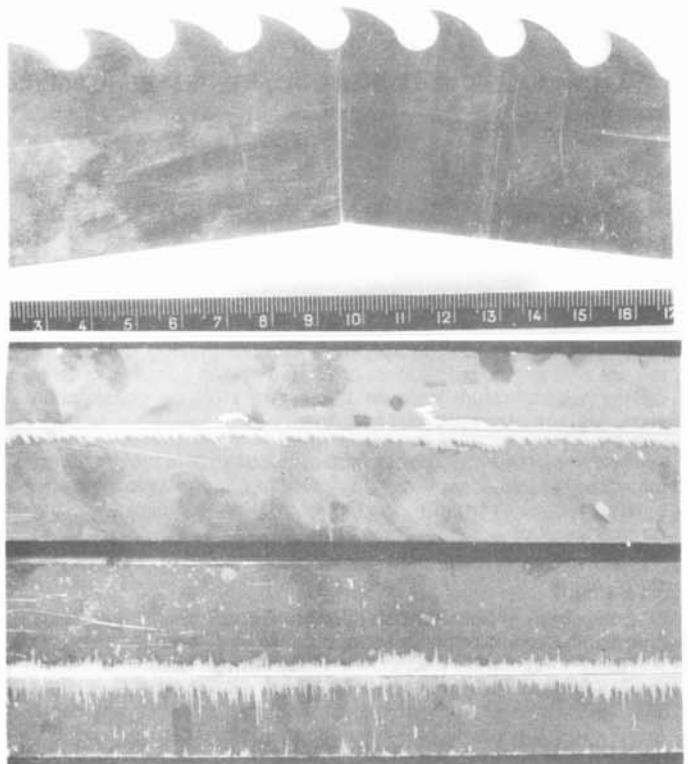
3 EKSPERIMENTALNI DEL IN REZULTATI

Pri eksperimentalnem delu smo se omejili na visokotemperaturno vakuumsko spajkanje segmentov za krožne žage in nožev za rezanje papirja, ki so izdelani iz jekla Č.7680, nosilni del je izdelan iz jekla Č.4320 - slika 2.

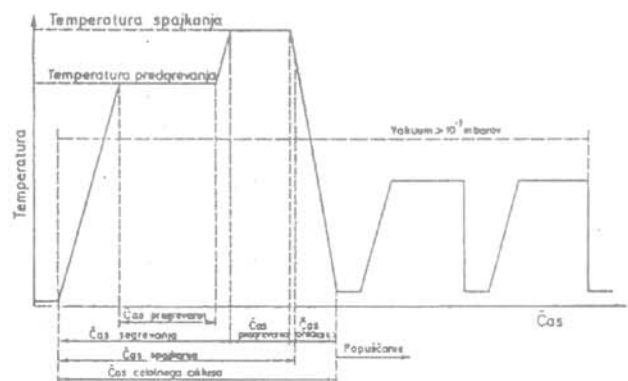
Dodatna materiala, ki smo ju uporabili pri tem postopku, sta proizvoda firme Nicrobraz Wall Colmonoy, na osnovi Ni-Cr z oznako 30 in LM, z zrnatostjo prahu $80 \mu\text{m}$ /4/.

Pri spajkanju segmentov krožnih žag smo glede na konstrukcijo izbrali čelni spoj s širino špranje $70 \mu\text{m}$. Temperatura spajkanja je bila 1190°C , s te temperature smo dele ohladili v toku dušika pod tlakom 5 bar, ter jih zatem dvakrat popuščali na temperaturi 540°C - slika 3.

Spajkanje smo izvršili v vakuumu, ki je bil boljši od 10^{-4} mbar, uporabili smo spajko z oznako 30. Tako izdelani segmenti žag so bili v tej fazi predvideni za nadaljnje metalografske in mehanske preiskave.



Slika 2. Segmenti krožnih žag in noža za rezanje papirja, izdelana po postopku visokotemperaturnega spajkanja in istočasno toplotno obdelana na $64 \pm 1 \text{ HRC}$

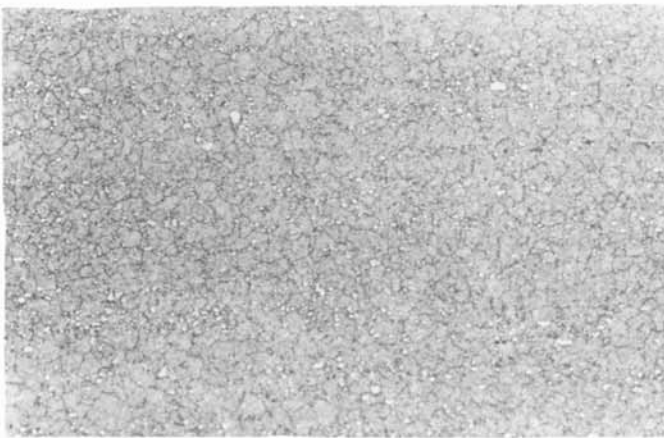


Slika 3. Shematski prikaz postopka visokotemperaturnega vakuumskega spajkanja in toplotne obdelave

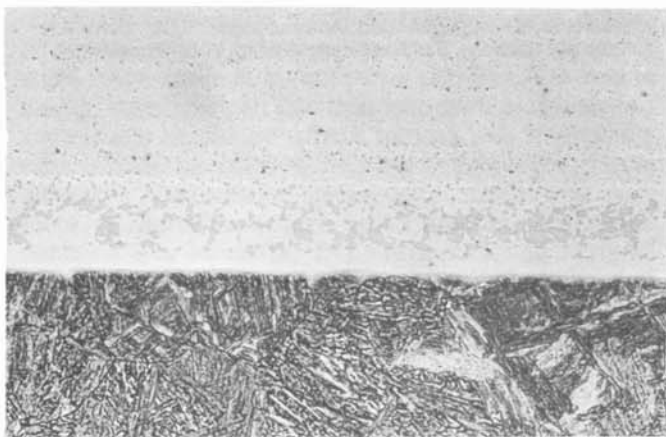
Za preizkus vzdržljivosti visokotemperaturnega vakuumskega spoja smo izdelali 2 noža za rezanje papirja dimenzij $425 \times 117 \times 10 \text{ mm}$ in en nož dimenzij $560 \times 117 \times 10 \text{ mm}$, slika 2, iz jekla Č.7680 in Č.4320. Pri teh nožih smo uporabili spajko z oznako LM.

Glede na konstrukcijo nožev smo izbrali prekrhovni spoj, širina špranje je bila $70 \mu\text{m}$. Vsi ostali parametri spajkanja in toplotne obdelave so bili enaki kot pri segmentih za krožne žage.

Za orodja, izdelana po postopku visokotemperaturnega spajkanja z istočasno toplotno obdelavo, je poleg zahtevanih lastnosti orodnega jekla najpomembnejša vezna trdnost med orodnim in konstrukcijskim jeklom /1,2/. Orodno jeklo ima drobno zrnato mikrostrukturo in po dvakratnem popuščenju matico iz popuščenega martenzita, v kateri so drobni karbidi (slika 4). Trdota jekla je 641 HRc. Konstrukcijsko jeklo EC 80 ima mikrostrukturo iz popuščenega martenzita in bainita. Zaradi visoke temperature avstenitizacije so avstenitna zrna velika.



Slika 4. Mikrostruktura orodnega jekla Č.7680 (BRM2) (pov. 200x)



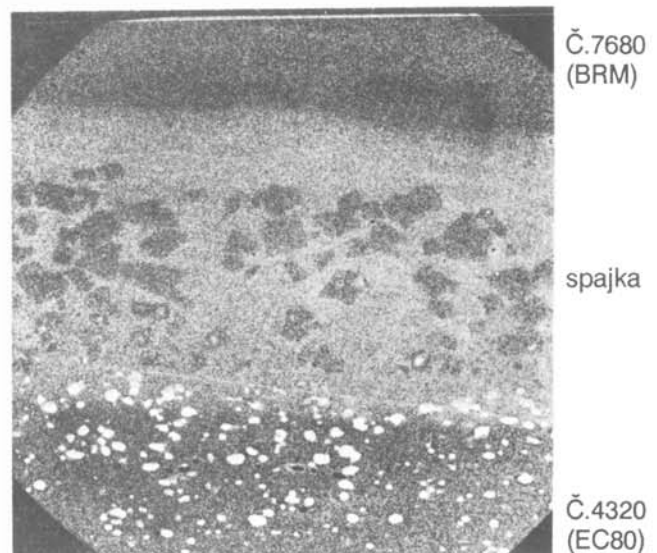
Slika 5. Mikrostruktura na stiku visokotemperaturno spajkanega orodja (pov. 200x)

Na sliki 5 je prikazana mikrostruktura vezne plasti med orodnim in konstrukcijskim jeklom na kaljenem in popuščenem vzorcu. Vzorec je bil spajkan s spajko 30. V vezni plasti opazimo zrna faze, ki je nastala v času spajkanja zaradi difuzijskih procesov. Difuzija je hitrejša na meji orodno jeklo/spajka, zato je te faze več v vezni plasti ob orodnem jeklu. Na meji s konstrukcijskim jeklom je vezna plast homogena.

Vzorci smo pregledali tudi v SEM. S slike 6 je razvidno, da so večja poligonalna zrna v vezni plasti različna, drobnejša zrna pa identična s karbidi v orodnem jeklu (bela zrna). Analiza v SEM je pokazala, da je v tej fazi prisoten tudi ogljik, ki deloma izhaja iz sestave spajke, deloma pa je difundiral v spajko iz orodnega jekla. Poleg ogljika difundirajo v spajko še W, Mo in V. Ni in Si difundirata iz spajke v orodno jeklo. Natančnejše preiskave v elektronskem mikroanalizatorju so pokazale, da so večja poligonalna zrna po sredini vezne plasti intermetalna faza iz Ni, Cr in Si, ki vsebuje še nekaj W, Mo in V. Drobnejša zrna so karbidi. Intermetalna faza je trda, izmerili smo vrednosti mikrotrdot od 500 do 600 HV. Povprečna mikrotrdota matice je 195 HV. Prisotnost intermetalne faze in karbidnih nizov znižuje vezno trdnost spoja /5/.

Na meji med spajko in konstrukcijskim jeklom poteka difuzija Cr, Ni in Si v konstrukcijsko jeklo. Na poboljšanih vzorcih smo opazili na tej meji tanko plast, bogato z ogljikom (slika 5). V temperaturnem področju popuščenja se aktivnost ogljika spremeni in difuzija ogljika poteka iz konstrukcijskega jekla na mejo s spajko.

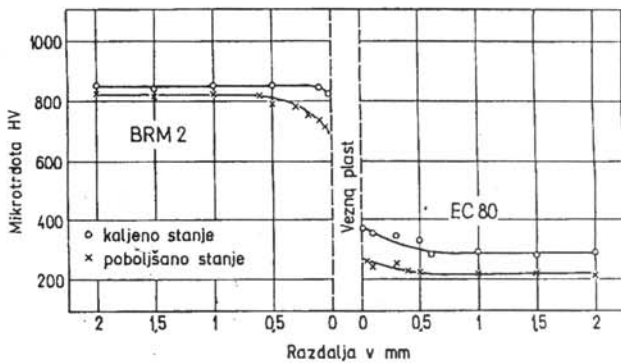
Difuzija legirnih elementov poteka v taki meri, da vpliva tudi na potek trdote na prehodu iz vezne plasti v orodno in konstrukcijsko jeklo. Na sliki 7 sta podana profila mikrotrdot (merjeno z obtežbo 25 g) na prehodu orodnega jekla in vezne plasti in vezne plasti ter konstrukcijskega jekla. Trdota orodnega jekla na prehodu pade, konstrukcijskega pa se poveča.



Slika 6. Mikrostruktura na stiku visokotemperaturno spajkanega orodja, posneta v SEM

Trdnostne lastnosti vezne plasti so odvisne od tehnologije izdelave orodja in pogojev toplotne obdelave. Vezna plast spajke mora biti čim tanjša, čim bolj homogena ter brez poroznih mest in razpok. Nastajanju intermetalnih faz in karbidov se zaradi difuzijskih procesov, ki so na temperaturi obdelave orodij že zelo hitri, ne moremo popolnoma izogniti /5/.

Dimenzije dela in osnovna kovina v glavnem določata čase segrevanja in hlajenja ter temperaturo spajkanja.



Slika 7. Potek mikrotrdote HV na prehodu iz vezne plasti v orodno in konstrukcijsko jeklo

Vakuumske peči za visokotemperaturno spajkanje morajo zadovoljiti več pogojev, kot so: zadostne zmogljivosti črpanja v razmerju z efektivno prostornino, majhno puščanje peči (10^{-3} mbar l s⁻¹), vakuum, ki je boljši od 10^{-4} mbar, dobra izenačenost temperature v delovnem področju peči, natančno krmiljenje in registracija ciklusa čas-temperatura itd. /1/. Da bi izdelali visokokvaliteten spoj s spajkanjem, moramo optimirati prevladujoče parametre spajkanja, kot so:

- temperatura spajkanja
- čas pregrevanja
- širina špranje in difuzijska toplotna obdelava za vsako kombinacijo dodatne in osnovne kovine.

4 SKLEP

Z visokotemperaturnim vakuumskim spajkanjem in istočasno toplotno obdelavo v vakuumski peči smo izdelali vzorce orodij iz nosilnega konstrukcijskega jekla in koristnega dela iz hitroreznega jekla. Kot dodatni material smo uporabili dve spajki, izdelani na bazi Ni-Cr.

Med toplotno obdelavo zelo hitro potekajo difuzijski procesi med tekočo spajko in trdno fazo, zlasti na meji z orodnim jeklom. Pri spajkah, izdelanih na bazi Ni-Cr, nastanejo v vezni plasti intermetalne in eutektične faze; karbidi v pasu orodnega jekla ob vezni plasti, po avstenitnih mejah pa mreža iz eutektičnih karbidov in lahko tudi praznine.

Trdnostne lastnosti vezne plasti so torej odvisne od tehnologije izdelave orodja in pogojev toplotne obdelave. Vezna plast spajke mora biti čim tanjša, čim bolj homogena in brez poroznih mest in razpok. Nastajanje intermetalnih faz in karbidov se zaradi difuzijskih procesov, ki so na temperaturi obdelave orodij že zelo hitri, ne moremo popolnoma izogniti.

Pri modernih vakuumskih pečeh s homogenim ohlajevanjem pod visokim tlakom je uporaba tega postopka ekonomična, če moramo spojiti in toplotno obdelati nekaj delov ali pa več tisoč.

5 LITERATURA

- /1/ J.W. Bouwman, High Temperature Vacuum Brazing, Ipsen interna dokumentacija
- /2/ Brazing, ASM International, Metals Park, Ohio 44073
- /3/ Gotek, Know how Systeme für die Oberflächentechnik
- /4/ Microbraz Data file, Wall Colmonoz corporation
- /5/ Hartloten, Grundlagen und Anwendungen, Lutz Dorn v.A., Kontakt Studium, Band 146 Expertverlag, 7032 Sindelfingen

Obvestilo

Naročnike Vakuumista vljudno prosimo, da s priloženo položnico **poravnate naročnino** za leto 1993. Cena štirih števil, kolikor jih bo predvidoma izšlo v letošnjem letu, je 800,00 SIT; za naročnike iz drugih držav pa 15 DEM, oz. protivrednost v njihovi domači valuti. Prosimo vas, da naročnino nakažete čimprej.