

TOČKOVNO TALILNO VARJENJE Z OPLAŠČENO ELEKTRODO Z UGREZNJENIM OBLOKOM

SPOT-PLUNGED ARC WELDING WITH A COVERED ELECTRODE

Janez Tušek¹, Roman Celin²

¹Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo, Aškerčeva 6, 1000 Ljubljana, Slovenija

²Inštitut za kovinske materiale in tehnologije, Lepi pot 11, 1000 Ljubljana, Slovenija
janez.tusek@fs.uni-lj.si

Prejem rokopisa - received: 2001-11-15; sprejem za objavo - accepted for publication: 2001-12-14

Članek obravnava obločno varjenje z oplaščeno elektrodo z ugreznjenim oblok. V uvodu članka je opisan Marangonijev efekt kot osnovni fenomen za opis gibanja taline v varu. Način in intenzivnost gibanja taline v varu sta namreč odločilnega pomena za doseg zadovoljive globine uvara. Prav to pa je pri obločnem varjenju z oplaščeno elektrodo z ugreznjenim oblok. doseženo.

Najobsežnejši del članka je opis točkovnega varjenja z oplaščeno elektrodo. Podan in opisan je diagram gibanja hladnega in vročega konca oplaščene elektrode med varjenjem. V sedmih fazah je prikazan proces varjenja z gibanjem oplaščene elektrode. Tabelarično je podana približna kemična sestava plašča oplaščene elektrode. Prikazanih je več makro obrusov točkovnih zvarov na prekrivnih spojih iz različno debelih pločevin. Podana je kemična analiza vara in osnovnega materiala.

Pri ekonomskih pokazateljih gospodarnosti varjenja je naveden talilni učinek, slikovno pa sta prikazani oblika in količina pretaljenega osnovnega in dodatnega materiala.

Gljučne besede: točkovno obločno varjenje, oplaščena elektroda, prekrivni spoj, talina zvara, Marangonijev efekt

This paper reports on spot-plunged arc welding with a covered electrode. It is introduced by a description of the Marangoni effect as a basic phenomenon for a description of weld-pool movement. The type and intensity of the weld-pool movement play a decisive role in achieving a satisfactory penetration depth. And this is achieved by spot-plunged arc welding.

The majority of the paper is focused on a description of the spot-plunged arc-welding process with a covered electrode. A diagram shows the movement of the cold and hot electrode ends during welding. The welding process is described in seven phases by the covered-electrode movement. A table gives an approximate chemical composition of the coating of the covered electrode. Several macro specimens of spot welds in lap joints made on plates of different thicknesses are shown. Chemical compositions of the weld metal and the parent metal are given.

As an indicator of the economy of spot-plunged arc welding, a melting rate is indicated. Several figures show the shape and volume of the parent metal and the filler material melted.

Key words: spot-plunged arc welding; covered electrode; lap joint; weld pool; Marangoni effect

1 UVOD

Pri obločnem talilnem varjenju obstaja večno iskanje odgovora, kako pri čim manjši vneseni energiji v varjenec doseči čim globlji uvar s čim višjo trdnostjo. Raziskovalci iščejo odgovor in rešitve v različnih smereh. Zelo ugodni rezultati so bili doseženi z uvedbo virov toplote za varjenje s koncentrirano energijo, kot sta laser in elektronski curek (pramen). S "stiskanjem" klasičnega varilnega obloka dobimo plazemski oblok, s katerim prav tako lahko dosežemo globljo prevaritev in ožji uvar kot s klasičnim prostogorečim varilnim oblok.

Rezultati nekaterih raziskovalcev pa so v zadnjih dveh desetletjih pokazali, da je možno doseči večjo globino uvara z uporabo različnih "snovi", ki v talini vara povečajo sposobnost večjega razmešanja na osnovi spremembe površinske napetosti taline. Te "snovi" povzročijo gibanje taline od sredine površine raztaljenega vara v globino osnovnega materiala in nato ob obeh straneh vara proti površini varjenca. Z mešanjem taline vara se prenaša toplotna energija iz obloka v notranjost

osnovnega materiala, ga tali in na ta način dosežemo globlji uvar. Gibanje taline v varu med varjenjem imenujemo Marangonijev efekt.

Druga možnost za doseganje globlje prevaritve pa se skriva v značilnostih nekaterih elementov, ki jih vnesemo v plašč oplaščene elektrode, da povečajo moč obloka in je le-ta sposoben prodreti v globino varjenca, odriniti nastalo talino vara na stran okoli obloka, razmešati talino osnovnega ter dodatnega materiala in ustvariti enoten relativno globok točkovni var. Pri tem je zelo pomembno, da z varilnim oblok. raztalimo veliko osnovnega materiala in zelo malo dodatnega, kar lahko dosežemo z ustrezno kemično sestavo in izdelavo jedra in plašča oplaščene elektrode.

2 MARANGONIJEV EFEKT

Marangonijev efekt oz. Marangonijeva konvekcija, ki nastopi v talini vara zaradi različnih površinskih napetosti pri različnih snoveh, ki so v raztaljenem varu in se izraža z gibanjem taline, se imenuje tudi termokapilarna konvekcija. Razlog za gibanje taline moramo

iskati v koncentraciji različnih snovi na različnih mestih v talini vara in v temperaturnih razlikah v različnih točkah v volumnu raztaljenega vara¹⁻¹¹. Marangonijeva konvekcija je slikovno predstavljena na **sliki 1**. Na **sliki 1A** je shematsko prikazana talina vara od zgoraj z označenimi smermi gibanja taline od sredine vara proti strjenemu osnovnemu materialu. Na **sliki 1B** pa je prikazan presek vara z označenima smerema gibanja taline vara od sredine površine proti robu vara na površini, ob robu v globino proti korenu vara ter nato iz sredine korena vara proti površini vara. Vir toplote na sredini vara povzroči negativni temperaturni gradient na temenu taline vara in s tem pozitiven gradient površinske napetosti, kar je osnovni pogoj za nastanek Marangonijevega efekta in gibanje taline, kot prikazujeta **sliki 1A in 1B**. Površinska napetost "potisne" talino vara iz središča površine vara, kjer ima talina visoko temperaturo in nizko površinsko napetost, proti robu vara, kjer je temperatura taline nižja, površinska napetost pa višja.

Z dodatki zelo majhnih količin kemičnih elementov, ki vplivajo na površinsko napetost taline, pa je možno vplivati na globino uvara. Te snovi lahko vsebujejo že material, ki ga varimo, ali dodajni material ali pa jih preprosto pred varjenjem ali med njim na tak ali drugačen način dovajamo na mesto varjenja. Prisotnost teh snovi, ki jih imenujemo "aktivne" snovi, povzročijo v talini vara več različnih fizikalno-kemičnih procesov, ki pa še niso popolnoma raziskani. Avtorji številnih člankov govorijo predvsem o dveh. Najštevilnejši obravnavajo "aktivne" snovi kot povzročitelje gibanja taline oz. Marangonijevega efekta in se pretežno posvečajo dogajanjem v talini vara pri TIG-varjenju¹²⁻¹⁶. Drugi pa večjo pozornost posvečajo procesom v obloku, če jim dodamo "aktivne" snovi. Pri tem so predvsem pri TIG-varjenju študirali padec napetosti v obloku, njegovo zoženje in stabilnost ter ionizacijske procese kot funkcijo "aktivnih" snovi. Večina ugotavlja, da te snovi koncentrirajo energijo v obloku in s tem dosežemo globlji uvar¹⁷⁻²¹.

Nekateri so TIG varjenje z dodajanjem "aktivnih" snovi poimenovali A-TIG-postopek, drugi pa FASTIG²²⁻²⁴

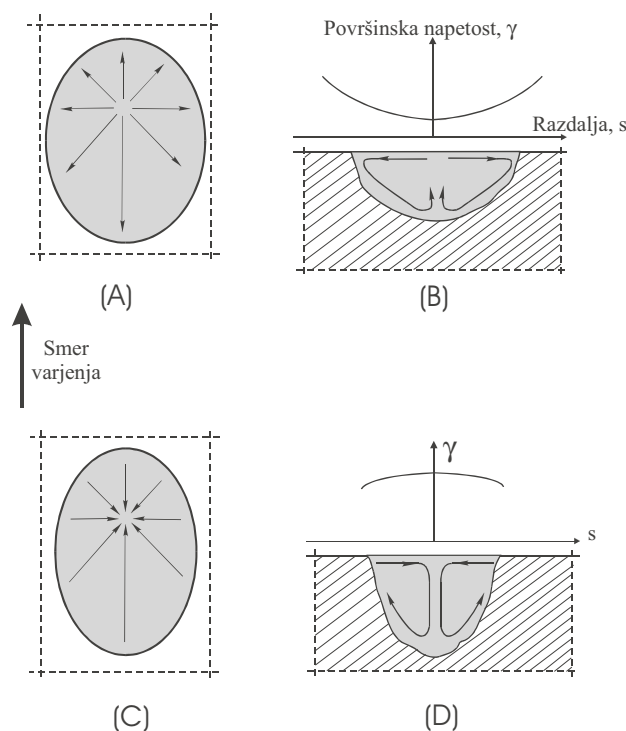
V splošnem pa lahko zapišemo, da ti "aktivni" elementi ustvarijo na površini vara negativen gradient površinske napetosti, kot je shematsko prikazano na **slikah 1C in 1D**. Talina vara se giblje od roba vara, kjer je temperatura taline nizka, proti sredini, kjer je znatno višja. Z gibanjem taline, kot prikazuje **slika 1D**, se iz vira toplote (oblok, laser, plazma, elektronski curek) s konvekcijo prenaša toplota v globino osnovnega materiala, ga tali in oblikuje koren vara. Tako dosežemo mnogo večjo globino uvara kot pa v primeru, ko talina vara ne vsebuje aktivnih elementov; to je v primeru, prikazanem na **slikah 1A in 1B**.

Omenili smo že, da pri osnovnem materialu nekaj teh "aktivnih" snovi oz. elementov lahko vsebuje že sam

material. Žveplo je eden pomembnejših elementov, s katerim je v talini vara, še posebno pri avstenitnih nerjavnih jeklih, možno vplivati na smer gibanja taline vara in s tem na obliko, predvsem pa na globino uvara²⁵. Na **sliki 2** sta prikazana dva makroobrusa dveh uvarov pri dveh nerjavnih jeklih, ki se v kemični sestavi razlikujeta samo po vsebnosti žvepla. Nerjavno jeklo, katerega makroobrus vara je prikazan na levi strani **slike 2**, vsebuje manjšo količino žvepla kot pa jeklo, katerega makroobrus je prikazan na desni strani **slike 2**. To pomeni, da že nekaj deset "ppm" vsebnosti žvepla v jeklu drastično vpliva na globino uvara.

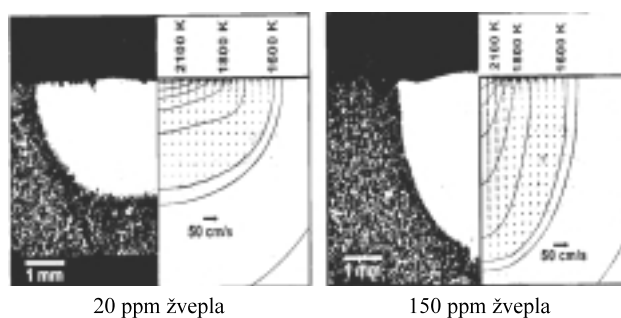
Poleg žvepla na procese gibanja taline vara oz. Marangonijev efekt pri varjenju jekel vplivajo še drugi čisti kemični elementi in razne kemične spojine. Celo več, z dodajanjem raznih aktivnih snovi v talino vara, ali v oblok med varjenjem, ali na sam varjenec že pred varjenjem, ali v plašč oplaščene elektrode, ali pa v stržen strženske žice je prav tako možno doseči enake ali podobne efekte, kot so opisani zgoraj in s katerimi dosežemo večjo globino uvara (**slika 3**).

Katere snovi oz. kateri kemični elementi so "aktivne" snovi in v kakšni meri vplivajo na procese v talini vara,



Slika 1: Marangonijeva konvekcija v talini vara. A - tloris taline vara brez aktivnih elementov, B - naris taline vara brez aktivnih elementov, C - tloris taline vara z aktivnimi elementi, D - naris taline vara z aktivnimi elementi¹⁶

Figure 1: Marangoni effect in weld pools. A - Top view of the weld pool without activating fluxes; B - Front view of the weld pool without activating fluxes; C - Top view of the weld pool with activating fluxes; D - Front view of the weld pool with activating fluxes¹⁶

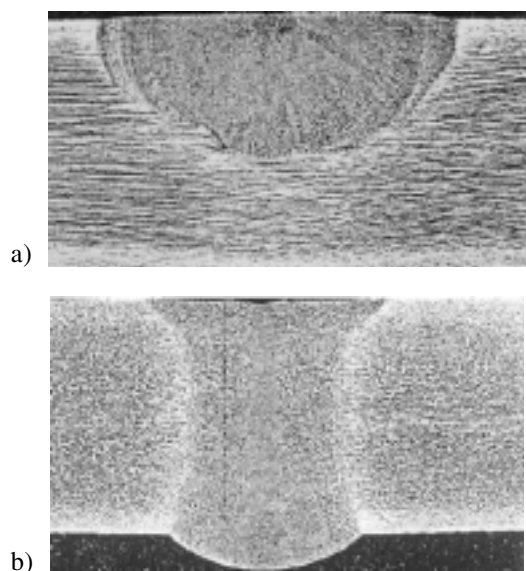


Slika 2: Vpliv količine žvepla v avstenitnem nerjavem jeklu na globino uvara ²⁵

Figure 2: Influence of sulphur content in austenitic stainless steel on penetration depth ²⁵

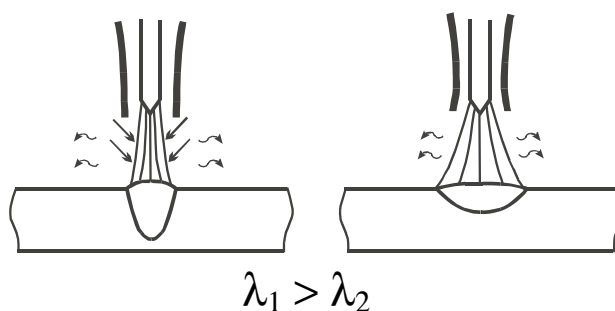
pa iz dostopne literature ni možno natančno ugotoviti ^{11,12,13,14}. V splošnem pa lahko zapišemo, da med te snovi spadajo silicijev, titanov, kromov in aluminijev oksid in še nekatere druge snovi, ki imajo visoko toplotno prevodnost in zmožnost, da s taljenjem ustvarijo eksotermično toploto, ki dodatno poviša temperaturo taline vara in zniža njeno površinsko napetost v sredini vara. S snovmi v obloku, ki povečajo odvod toplote iz njega, se v sredini obloka skoncentrira energija in s tem poviša temperatura taline vara v sredini vara (**slika 4**), kar je osnova za Marangonijev efekt. Istočasno se v obloku poveča električna upornost oz. padec napetosti, kar vodi do večje moči obloka in s tem do večje prevaritve osnovnega materiala.

Pri katerih varilnih postopkih je možno uporabiti "aktivne" snovi in za katere materiale, je za prakso odločilnega pomena. V literaturi lahko najdemo članke, ki poročajo o uporabi "aktivnih" snovi skoraj izključno



Slika 3: Globina uvara pri nerjavem jeklu pri klasičnem TIG-varjenju (a) in pri TIG varjenju z dodatkom "aktivne" snovi (b) pri enakih varilnih parametrih ¹²

Figure 3: Penetration depth in stainless steel in conventional TIG welding (a) and in welding with the addition of an activating flux (b) ¹²



Slika 4: Primerjava prostogorečega obloka v zaščiti nevtralnega plina (desno) z oblokom, ki so mu dodane "aktivne" snovi (levo)

Figure 4: Comparison of an arc to which activating fluxes were added (left) with one burning in a shielding gas (right)

pri TIG-varjenju in v največ primerih za nerjavna avstenitna jekla.

3 PROCES TOČKOVNEGA TALILNEGA VARJENJA Z OPLAŠČENO ELEKTRODO Z UGREZNJENIM OBLOKOM

Kot smo že omenili, je večina raziskovalcev v preteklosti študiralo uporabo "aktivnih" snovi pri TIG-varjenju. V dostopni literaturi nismo našli informacije o uporabi "aktivnih" snovi pri drugih varilnih postopkih. Po naši oceni bi te snovi lahko uporabili tudi v prašku pri varjenju pod praškom, v strženu pri varjenju s strženskimi žicami ali pa v plašču pri obločnem varjenju z oplaščenimi elektrodami.

Poleg uporabe "aktivnih" snovi lahko kot "samostojen" akter pri varilnih procesih uporabimo oplaščeno elektrodo, ki poleg "aktivnih" snovi vsebuje še druge elemente, ki povečajo moč obloka do take mere, da lahko gori pod površino varjenja v talini vara kot "key-hole" efekt ^{26,27}. V **tabeli 1** je podana približna sestava plašča in s procentualnimi vrednostmi za posamezne elemente, ki sestavljajo plašč oplaščene elektrode. Podatki iz **tabele 1** potrjujejo zgornje navedbe, da so za mešanje taline vara pomembni silicijev in titanov oksid ter nikelj in krom. Z dodatnim ustreznim gibanjem oplaščene elektrode v navpični smeri (navzdol in navzgor) in z rotacijo vročega konca elektrode skupaj z oblokom ustvarimo zelo globok točkoven var z ustreznim oblikovanim temenom.

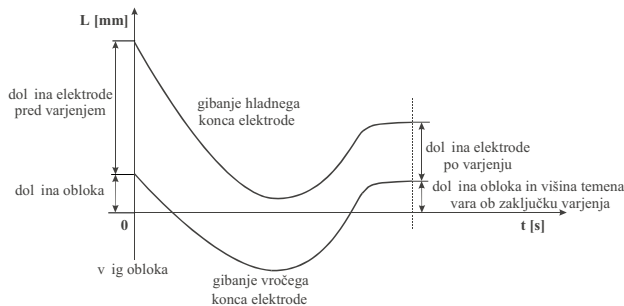
3.1 Opis raziskovalnega dela

Pri raziskovalnem delu smo prekravno zvarjali različno debele profile in pločevine iz maloogljivega jekla (**tabela 4**). Uporabili smo klasičen vir varilnega toka s padajočo statično karakteristiko, ki omogoča visokofrekvenčni vžig obloka. Varili smo z oplaščenimi elektrodami premera 2,5 mm, 3,25 mm in 4,0 mm. Jakost varilnega toka smo izbirali glede na premer elektrode in je bila od 120 A pa do 210 A. Čas varjenja je odvisen od premera oplaščene elektrode, jakosti

Tabela 1: Najpomembnejši elementi, ki sestavljajo plašč oplaščene elektrode, s približno vsebnostjo v odstotkih

Table 1: Composition of the coating including the most important elements and their content

Element	Ca	SiO ₂	TiO ₂	Ni	Cr	Mo	Mn
%	2,5 - 5,0	12 - 16	10 - 14	8 - 12	24 - 30	2,5 - 5,0	2,5 - 5,0



Slika 5: Potek gibanja vročega in hladnega konca oplaščene elektrode glede na površino varjenca v odvisnosti od časa pri točkovnem talilnem varjenju z oplaščeno elektrodo z ugreznjenim oblikom

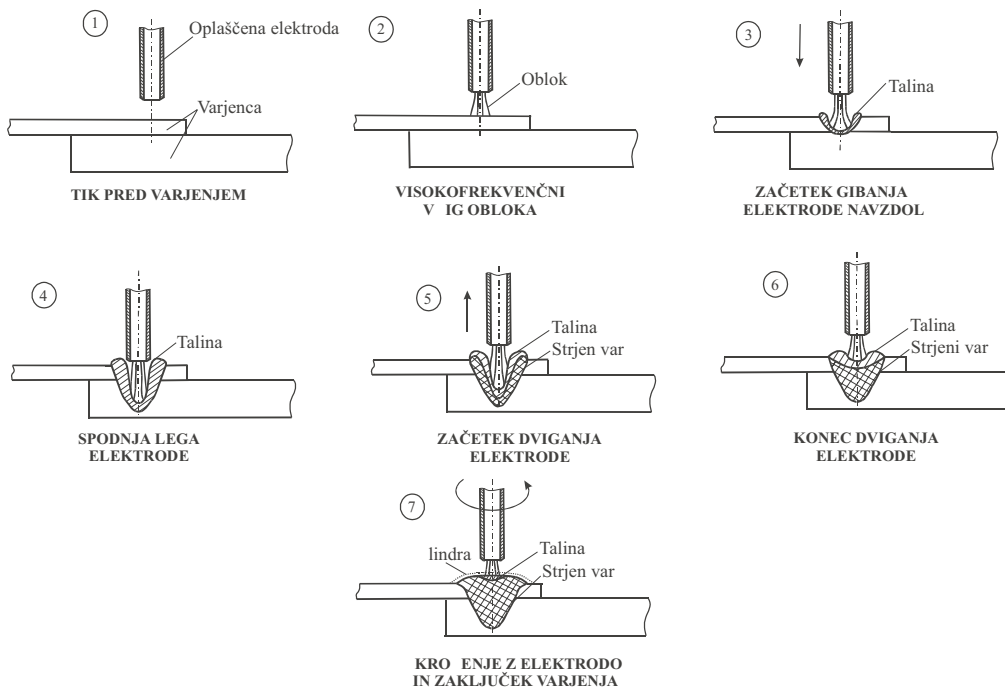
Figure 5: Variations of movement of the hot and cold ends of the covered electrode with reference to the workpiece surface and as a function of time in spot-plunged arc welding with the covered electrode

varilnega toka in predvsem od debeline varjencev oz. debeline prekrvnega spoja. Pri našem delu smo čase varjenja izbirali od 12,5 s pa do 30 s. Poleg omenjenih parametrov so pri točkovnem talilnem varjenju z oplaščeno elektrodo z ugreznjenim oblikom zelo pomembne hitrost gibanja elektrode navzdol v globino varjenca in nato navzgor proti površini kakor tudi hitrost,

smer in lega kroženja z vročim koncem elektrode skupaj z oblikom ob zaključku varjenja oz. pri izdelavi temena vara.

Na **sliki 5** je v diagramu shematsko prikazano gibanje vročega in hladnega konca oplaščene elektrode med varjenjem v odvisnosti od časa in glede na površino varjenca. Natančen potek obeh krivulj pa je odvisen od vseh zgoraj navedenih parametrov. Iz diagrama lahko poleg poteka obeh krivulj odčitamo čas varjenja, dolžino porabljene elektrode in približno ocenimo globino uvara.

Celoten potek točkovnega talilnega varjenja z oplaščeno elektrodo z ugreznjenim oblikom je prikazan na **sliki 6** v sedmih shemah. S prvo shemo je prikazano stanje pred varjenjem. Elektroda je postavljena pravokotno na površino prekrvnega zvarnega spoja v oddaljenosti od 1,2 do 1,7 premera jedra elektrode. Na drugi shemi vidimo vžig obloka in začetek varjenja in na tretji začetek gibanja elektrode v globino varjenca. Najnižja lega elektrode je prikazana na shemi štiri, na peti pa gibanje elektrode navzgor ter tvorjenje korena vara. Konec gibanja elektrode navzgor in začetek oblikovanja temena vara s kroženjem vidimo na shemi šest in na sedmi zaključek varjenja.

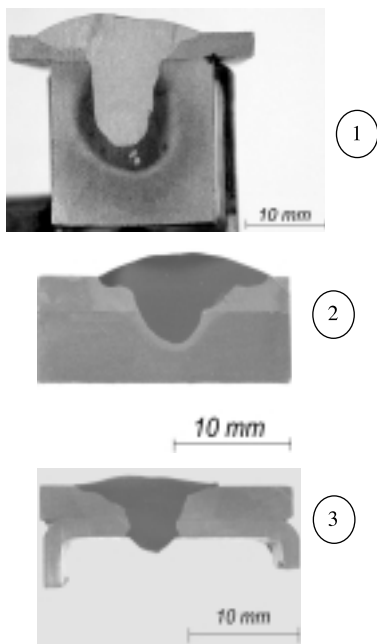


Slika 6: Shematski prikaz točkovnega talilnega varjenja z oplaščeno elektrodo z ugreznjenim oblikom pri varjenju prekrvnega zvarnega spoja različnih debelin varjencev

Figure 6: Schematic representation of spot-plunged arc welding with a covered electrode when making a lap joint between two workpieces with different thicknesses

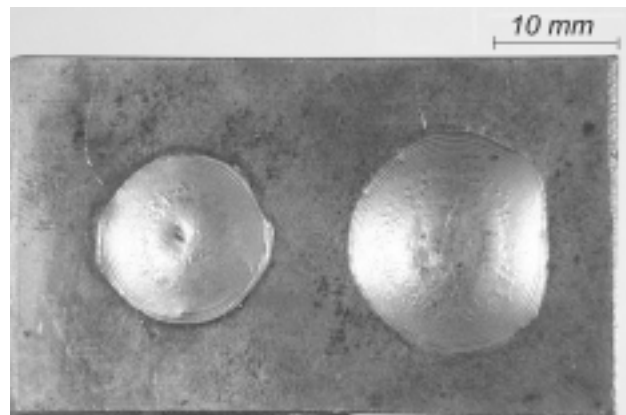
Raziskave so torej pokazale, da je s primernim izborom snovi v jedru in plašču opllašene elektrode ter s primernim vodenjem opllašene elektrode kakor tudi z ustreznim izborom varilnih parametrov možno znatno povečati globino uvara. Na **sliki 7** je prikazanih več makro obrusov, prekrivno zvarjenih spojev s točkovnim zvarom, izdelanim obločno z opllašeno elektrodo. Prvi makro obrus prikazuje točkovno privaritev 3 mm debele pločevine na 22 mm debelo pločevino brez prevaritve. Tudi drugi makro obrus kaže točkovni zvar na prekrivnem spoju različno debelih pločevin z relativno majhno globino uvara. Na tretjem makro obrusu pa vidimo prekrivni zvarni spoj, ko točkovni var sega skozi obe pločevini. Vsi trije točkovni zvari so bili izdelani brez vsakršne priprave pred varjenjem. To pomeni, da varimo v "polno" in da mesto zvara ni vnaprej določeno. Pred varjenjem je treba le dobro očistiti pločevino, da lažje vžgemo oblok in da oksidi in druge nečistoče ne pridejo v talino vara. Maksimalna globina uvara, ki smo jo pri naših raziskavah dosegli, je bila 25 mm. Iz tega izhaja, da je iz trdnostnega vidika možno točkovno privariti tudi do 15 mm debelo jekleno pločevino ali druge profile na poljubno debelo drugo pločevino. Če je ta tanjša od 10 mm lahko točkovni zvar sega skozi obe pločevini, če pa je debelejša, pa točkovni zvar v drugi oz. spodnji pločevini sega le do določene globine.

Temeni dveh obločno točkovno pogreznjeno zvarjenih zvarov sta prikazani na **sliki 8**. Vsi zvari (**sliki 7 in 8**) so bili izdelani ročno, kar pomeni, da je moral varilec voditi elektrodo navpično navzdol do potrebne globine in nato navzgor do površine varjenca in na njej s kroženjem izdelati teme vara.



Slika 7: Prekrivni zvarni spoji s točkovnimi zvari, zvarjeni obločno z opllašeno elektrodo z ugreznjenim oblokom

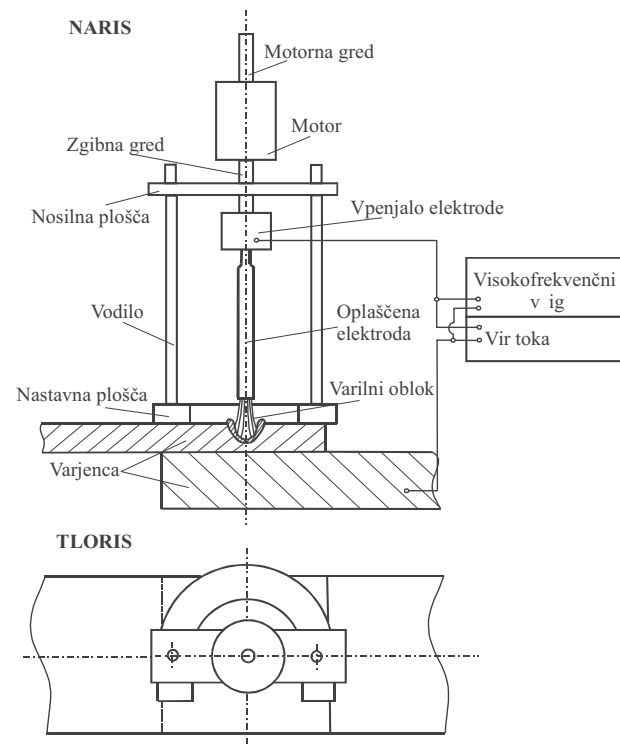
Figure 7: Lap joints including welds made with spot-plunged arc welding with a covered electrode



Slika 8: Temena dveh varov, izdelana točkovno talilno z opllašeno elektrodo z ugreznjenim oblokom z različnimi premeroma elektrod in z različnimi parametri

Figure 8: Final layers of two welds made with spot-plunged arc welding with different covered-electrode diameters and different parameters

Podobne zware, toda z bolj predvidljivo obliko in vnaprej znano dimenzijo, je možno izdelati avtomatsko z inovativno napravo (patent je v postopku prijave). Shematsko je naprava prikazana na **sliki 9**. Glavni del naprave je koračni motor, ki omogoča programirano hitrost in dolžino pomika navzdol, čas zadrževanja na spodnji legi, programirano hitrost gibanja navzgor, čas zadrževanja na zgornji legi ter hitrost in potek kroženja z



Slika 9: Shematski prikaz avtomatske naprave za točkovno talilno varjenje z oplášeno elektrodo z ugreznjenim oblokom

Figure 9: Schematic representation of the automatic device for plunged arc spot-welding with a covered electrode

Tabela 2: Vrednosti mikrotrdote, izmerjene v osnovnem materialu, toplotno vplivani coni in v varu s števkami, kje je bila trdota izmerjena (slika 10)

Table 2: Measured microhardness values obtained in the parent metal, the heat-affected zone, and the weld metal, and numbered positions of the indentations (Figure 10)

	Osnovni material Parent metal				Prehodna cona Transition zone				Zvar Weld			
LINIJA I LINE I	1.	132	16.	153	5.	140	14.	178	7.	418	11.	400
	2.	121	17.	133	6.	158	15.	168	8.	418	12.	411
	3.	123	18.	162					9.	409	13.	411
	4.	130							10.	401		
LINIJA II LINE II	1.	164	14.	165	3.	195	11.	205	5.	420	8.	210
	2.	163	15.	196	4.	213	12.	190	6.	198	9.	200
							13.	170	7.	208	10.	234

Tabela 3: Kemična sestava jekla v sredini vara (v točkah 7, 8, 9, 10 na sliki 10)

Table 3: Chemical composition of steel in the weld centre (locations 7, 8, 9, and 10 in Figure 10)

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	Al
0,053	1,08	0,995	0,019	0,012	15,5	7,663	2,66	0,041	0,005

Tabela 4: Kemična sestava osnovnega materiala

Table 4: Chemical composition of the parent metal

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	Al
0,156	0,013	0,631	0,019	0,028	0,058	0,038	0,017	0,052	0,001

elektrodo in obliko pri izdelavi temena vara. Varilni tok za varjenje dobimo iz klasičnega vira toka za varjenje s padajočo statično karakteristiko, ki mu je dodana naprava za visokofrekvenčni vžig obloka. Ohišje naprave je sestavljeno iz nastavne in nosilne plošče, vodil in vpenjalne čeljusti za elektrodo, ki je povezana z gredjo programiranega motorja.

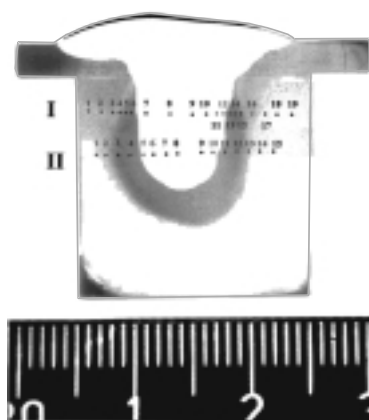
3.2 Analiza točkovnega zvara

Analizo zvara smo napravili le na enem primeru, kar pa ne pomeni, da je možno izdelovati samo takšne zware. Na sliki 10 je prikazan makro obrus točkovnega vara z označeno raztaljeno in toplotno vplivano cono ter označenima linijama, na katerih smo merili trdoto. V tabeli 2 so prikazane vrednosti izmerjenih mikrotrdot HV z obtežbo 300 g za dve liniji od osnovnega materiala preko toplotno vplivane cone in vara ter ponovno preko toplotno vplivane cone v osnovni material na drugi strani vara (slika 10).

Na sredini vara (slika 10) preko točk 7, 8, 9, 10 na liniji I smo napravili tudi kemično analizo. V teh točkah smo namreč izmerili najvišjo trdoto. Kemična analiza je za deset najvplivnejših elementov prikazana v tabeli 3. Če za to kemično sestavo jekla izračunamo kromov in nikljev ekvivalent v skladu s Schaefflerjevim diagramom, lahko ugotovimo, da ima jeklo mešano avstenitno-feritno-martenzitno strukturo. Pri tem pa je treba povedati, da sestava zvara po celotnem preseku ni enakomerna, ampak od točke do točke zelo različna. To je posledica intenzivnega gibanja taline vara, ki je se-

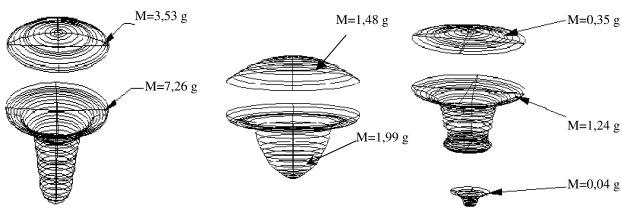
stavljena iz elementov, ki se nahajajo v plašču oplaščene elektrode (tabela 1), v jedru elektrode in v osnovnem materialu. Za primerjavo smo naredili tudi kemično analizo osnovnega materiala, ki je prikazana v tabeli 4.

Na osnovi merjenja trdot preko vara in toplotno vplivane cone ter kemične analize vara priporočamo predgrevanje varjencev pred varjenjem in kontrolirano ohlajanje po varjenju. Višina temperature predgrevanja pa je odvisna od vrste osnovnega materiala in tudi od sestave jedra in plašča oplaščene elektrode. Če varimo avstenitno nerjavno jeklo, naj temperatura predgrevanja kakor tudi medvarkovna temperatura ne bi presegli 150 °C.



Slika 10: Makro posnetek točkovnega vara z označenimi mesti merjenja trdote

Figure 10: Macro specimen of a spot weld with hardness measurement locations indicated



Slika 11: Shematski prikaz orisov volumnov raztaljenega osnovnega in dodatnega materiala pri točkovnem talilnem varjenju z oplaščeno elektrodo z ugreznjenim oblokom z različnimi varilnimi parametri

Figure 11: Schematic representation of volumes of the parent metal and the filler material melted in spot-plunged arc welding with a covered electrode using different welding parameters

4 TEHNOLOŠKO-EKONOMSKI POKAZATELJI TOČKOVNEGA TALILNEGA VARJENJA Z OPLAŠČENO ELEKTRODO Z UGREZNJENIM OBLOKOM

Iz opisa procesa, ki je podan zgoraj, lahko dokaj zanesljivo povemo, da bo postopek uporaben predvsem v gradbeništvu, pri izdelavi raznih zabojskih in posod ter povsod tam, kjer je možno uporabiti prekrivne zvarne spoje in je treba variti z nizkim vnosom energije v varjenec. Največja prednost točkovnega talilnega varjenja z ugreznjenim oblokom je v relativno veliki količini pretaljenega osnovnega materiala ob relativno majhni količini pretaljenega dodatnega materiala. To razmerje se zelo razlikuje od razmerja pri klasičnem varjenju z oplaščeno elektrodo. Na **sliki 11** so shematsko prikazani primeri orisov volumnov pretaljenega dodatnega in osnovnega materiala za tri različne zvarne spoje.

Najboljši pokazatelj produktivnosti vsakega talilnega postopka varjenja je talilni učinek, to je količina dodatnega materiala pretaljenega v časovni enoti. Znano je, da je talilni učinek pri klasičnem ročnem obločnem varjenju z oplaščeno elektrodo od 0,8 do 1,6 kg/h, pri MAG varjenju od 3,0 do 6,0 kg/h in pri visoko produktivnih postopkih varjenja, kot je EPP ali pa TIME od 4,0 pa celo do 15,0 kg/h. Pri točkovnem talilnem varjenju z oplaščeno elektrodo z ugreznjenim oblokom pa je talilni učinek relativno nizek, kar je ugodno in zavestno doseženo. To dosežemo predvsem po zaslugi oplaščene elektrode oz. kemične sestave jedra in plašča elektrode. Del varilnega toka se namreč med varjenjem prevaja tudi skozi plašč oplaščene elektrode, kar pomeni, da se električna energija porabi za taljenje plašča, iz katere pa nastane žilindra. Poleg tega pa sestava plašča vsebuje elemente, ki med varjenjem povzročijo dva zgoraj opisana fizikalna fenomena. Oba fenomena (večja moč obloka in gibanje taline) prispevata k globlji prevaritvi in sta "bistvo" točkovnega talilnega varjenja z oplaščeno elektrodo z ugreznjenim oblokom.

Pri točkovnih zvarih (**slika 11**) je bil dosežen talilni učinek od 0,3 do 0,6 kg/h. Količina pretaljenega osnovnega materiala pa je bila mnogo večja, od 0,5 do 1,1 kg/h. To pomeni, da se je pretalilo tudi do dvakrat več osnovnega materiala kot dodatnega, kar je nekoliko

nenavadno za klasična obločna talilna varjenja z oplaščeno elektrodo.

Pomembno vlogo pri tem postopku igra plašč oplaščene elektrode in količina porabljenega obločne energije za taljenje plašča, iz katerega preide mnogo kovinskih legirnih elementov v var, nekovinskih pa v žilindro, saj pripomorejo z raznimi "procesii" doseči večjo globino uvara. Snovi oz. posamezni elementi v plašču morajo "zožiti" oblok in v njem koncentrirati energijo ter v talini vara omogočiti in pospešiti gibanje taline od sredine vara v globino varjenja in nato navzgor proti površini vara ob boku vara, kot prikazuje **slika 1A**.

5 SKLEPI

Na temelju pregleda literature, teoretičnih in praktičnih raziskav lahko zapišemo, da je to praktično nov postopek, ki v literaturi ni opisan in v praksi le delno uporabljen. Celotno vsebino članka in ugotovljene rezultate lahko navedemo v nekaj točkah:

- točkovno talilno varjenje z oplaščeno elektrodo z ugreznjenim oblokom je lahko ročni ali avtomatski postopek;
- oplaščena elektroda mora vsebovati kovinske in nekovinske elemente, ki zagotovijo zožen oblok in gibanje taline vara od sredine vara v globino in nato ob bokih vara navzgor proti površini vara;
- večina "aktivnih" snovi se nahaja v plašču oplaščene elektrode;
- gibanje elektrode in obloka v globino varjenja in nato dviganje proti površini varjenja ni linearno;
- s potekom kroženja vročega konca elektrode skupaj z oblokom sta določeni velikost in višina temena vara;
- z napravo za avtomatsko varjenje zagotovimo avtomatsko gibanje elektrode v globino varjenja, njeno dvigovanje kakor tudi kroženje vročega konca elektrode ob izdelavi temena vara;
- zaradi "aktivnih" snovi, kot so krom, nikelj in drugi, dobimo korozijsko obstojen var;
- pri trdnostno zahtevnih zvarnih spojih se priporoča predgrevanje varjencev pred varjenjem in kontrolirano ohlajanje po njem;
- višina temperature predgrevanja in tudi medvarkovna temperatura sta odvisni od vrste materialov, ki jih varimo;
- talilni učinek pri točkovnem talilnem varjenju je od 0,3 do 0,6 kg/h, količina pretaljenega osnovnega materiala pa od 0,5 do 1,1 kg/h;
- izkoristek obločne energije je relativno nizek in je nižji od 20%.

6 LITERATURA

- ¹ S. Yokoya, A. Matsunawa: Surface tension driven flow in semi-cylindrical basin. *IIW Doc. 212-563-83*
- ² A. Matsunawa, T. Ohji: Role of surface tension in fusion welding (Part 1) Hydrostatic effect. *Transactions of JWRI*, 11(1982)2, 145 - 154

- ³ A. Matsunawa, T. Ohji: Role of surface tension in fusion welding (Part 2) Hydrostatic effect. *Transactions of JWRI*, 12(1983)1, 124 - 130
- ⁴ A. Matsunawa, T. Ohji: Role of surface tension in fusion welding (Part 3) Hydrostatic effect. *Transactions of JWRI*, 13(1984)1, 147 - 156
- ⁵ L. R. White, H. T. Davis: Thermal conductivity of molten alkali nitrates. *The Journal of Chemical Physics*, 47(1967)12, 5433 - 5439
- ⁶ The Physics of Welding. Oxford, Pergamon Press, 1984 (ed. J. F. Lancaster)
- ⁷ M. Schellhase: Der Schweisslichtbogen - ein technologisches Werkzeug (DVS Fachbuchreihe Schweisstechnik Bd. 84), Düsseldorf, DVS-Verlag, 1985
- ⁸ C. Laimmaneevichitr, S. Kou: Experiments to simulate effect of Marangoni convection on weld pool shape. *Welding Journal*, 79(2000)8, 231s - 232s
- ⁹ G. M. Oreper, J. Szekely: Heat- and fluid-flow phenomena in weld pools. *Journal of Fluid Mechanics*, 147(1984), 53 - 79
- ¹⁰ C. Laimmaneevichitr, S. Kou: Visualization of Marangoni convection in simulated weld pools containing a surface-active agent. *Welding Journal*, 79(2000)11, 324s - 330s
- ¹¹ H. Wirtz: Das Verhalten der Stähle beim Schweißen. Teil 1: Grundlagen. Düsseldorf, Deutscher Verlag für Schweisstechnik, 1966
- ¹² W. Lucas, D. Howse: Activating flux - increasing the performance and productivity of the TIG and plasma process. *Welding & Metal Fabrication*, 64(1996)1, 11 - 17
- ¹³ S. Puybouffat, et al.: Spectroscopic study of arc plasma in A TIG welding of a stainless steel 304 with TiO₂ as a flux cover. *IIW Doc. 212-692-00*
- ¹⁴ M. Tanaka, et al.: Effects of activating flux on arc phenomena in TIG arc welding. *IIW Doc. 212-964-00*
- ¹⁵ S. M. Gurevič, et al.: Povyšenie effektivnosti proplavljenija titanovyh splavov pri argono-dugovoj svarke. *Avtomatičeskaja svarka*, (1965)9, 1 - 4.
- ¹⁶ C. R. Heiple, J. R. Roper: Mechanism for minor element effect on GTA fusion zone geometry. *Welding Journal*, 61(1982)4, 97s - 102s
- ¹⁷ W. Middel, et al.: Influence of additives on arc properties. *IIW Doc. 212-972-00*
- ¹⁸ W. Middel, G. den Ouden: Additive-assisted position sensing during GTA welding. *IIW Doc. 212-927-98*
- ¹⁹ D. S. Howse, W. Lucas: Investigation into arc constriction by active fluxes for tungsten inert gas welding. *Science of Technology of Welding and Joining*, 5(2000)3, 189 - 193
- ²⁰ S. M. Gurevič, V. N. Zamkov: Nekotorye osobennosti svarki titana neplavjaščimsja elektrodom s primeneniem fljusov. *Avtomatičeskaja svarka*, (1966)12, 13 - 16
- ²¹ A. G. Simonik et al.: Effekt kontrakcij dugovogo razrjada pri vvedenii elektrotricateľ'nyh elementov. *Svaročnoe proizvodstvo*, (1976)3, 49 - 51
- ²² Seminar on A-TIG and PATIG. E. O. Paton Electric Welding Institute, 12 July, 1999
- ²³ GTAW flux shows promise for double-hull structures. *Welding Journal*, 79(2000)8, 119
- ²⁴ D. Howse: Developments in A-TIG welding. TWI Report.
- ²⁵ B. de Meester: Developments of base materials for welding. Proceedings of the International Conference: Welded constructions - Achievements and perspectives for the new millenium, Florence, 13. July 2000, 9 - 25
- ²⁶ Dong Chunlin et al.: Arc light sensing of keyhole behaviour in plasma arc welding of stainless steel. *IIW Doc. 212-947-99*
- ²⁷ A. Matsunawa: Possible motive forces of liquid motion in laser weld pool. *IIW Doc. IV-770-2000*