

Pod elektro prevodno žlindro pretaljena varilna žica za električna talilna varjenja

DK: 669.187.6

669.046.582

ASM/SLA: D 8 p, k 1 d

Pavel Štular

V članku je opisan razvoj varilne žice, ki je bila izdelana iz ingotov, pretaljenih pod elektro prevodno žlindro z dodatkom ferotitana kot inokulatorja za varjenje nizkoogljčnih jekel po postopkih (pol)avtomatskega obločnega varjenja pod praškom (EPP) v zaščiti CO₂ in pod elektroprevodno žlindro (EZ). Navedeni varilni načini so izredno gospodarni, toda zaradi njihove relativno velike talilne zvarne kopeli je struktura zvara izrazito grobo zrnata in zato zarezna žilavost relativno nizka.

Z ustreznim dodajanjem ferotitana je bila dosežena finožrnata kristalizacija relativno velikih zvarnih talin in s tem znatno višja zarezna žilavost zvarov pri neizpremenjenih ostalih mehanskih karakteristikah, kar je v članku razvidno iz primerjalnih podatkov z mehanskimi karakteristikami zvarov, varjenih z običajno varilno žico.

1. UVOD

Pri študiju tehnoloških, fizikalno-kemičnih, metaloznanstvenih in elektriških problemov avtomatskega električnega varjenja pod žlindro (1), (2), (3), (5) smo uporabili variantni postopek varjenja pod žlindro, t. j. pretaljevanje pod žlindro za poizkus razvoja varilne žice (elektrode) za različna avtomatska električna varjenja pod praškom, pod žlindro, v zaščiti CO₂ itd. (4), (6), (7), (8).

Vsako električno talilno varjenje je pravzaprav mikroelektro-metalurški postopek pretaljevanja kovine, avtomatsko električno varjenje pod žlindro pa ima tudi za makroelektro-metalurgijo pretaljevanja kovin izreden pomen. Varjenje, ki ima v mnogočem svoje osnove v metalurgiji, s postopkom pretaljevanja pod žlindro oplaja kot mlajša tehniška panoga metalurgijo s tem, da ji nudi pomemben način pretaljevanja kovin, posebej jekla za posebne namene.

»Makro« pretaljevanje pod žlindro v sodobni metalurgiji zadnjih 10 let v primerjavi z elektro pretaljevanjem določenih vrst jekel v vakuumski obločni peči ali elektro pretaljevanjem v plazemski peči, oziroma v peči na elektronski snop ni

samo enakovreden postopek, ampak celo kvalitetno prekaša omenjene ostale sodobne načine pretaljevanja (9), (10).

Kot je znano, so izumili električno varjenje pod žlindro in iz njega še električno pretaljevanje pod žlindro (EPŽ) na Patonovem inštitutu za varjenje v Kijevu l. 1957 (11).

V Jugoslaviji smo pričeli z uvajanjem tehnologije varjenja in pretaljevanja pod žlindro na Zavodu za varjenje v Ljubljani l. 1962, t. j. 5 let po izumu, z razvojem in raziskavami pa smo se pričeli ukvarjati l. 1964. Od tega časa pa do danes nismo osvojili samo tehnologije, prenesli smo jo v prakso, razvili praške, dodajni material, odkrili nove fenomene in izdelali prvo polindustrijsko napravo za tovrstno varjenje za Inštitut tovarne Đ. Đaković v Slavonskem Brodu (12).

Na metalurškem področju pretaljevanja pod žlindro v SFRJ zasledimo prve raziskovalne rezultate l. 1971 (13) na Metalurškem inštitutu v Ljubljani. V svetu pretaljujejo na ta način jeklene bloke, težke nekaj deset ton, pri nas pa je v zadnjih dveh letih z uspehom uvedla to tehnologijo v metalurško prakso prva Železarna Ravne s pomočjo Metalurškega inštituta.

2. POMEN PRETALJEVANJA POD ŽLINDRO ZA METALURGIJO, VARJENJE IN VARJENE KONSTRUKCIJE

Danes je splošno poznano, da je kvaliteta kovine za varjeno konstrukcijo odločilnega pomena.

Količina nečistoč z nizkim tališčem, plinov in nekovinskih vključkov v jeklu, kakor tudi homogenost njegove strukture, v veliki meri vplivajo na odpornost jekla proti toplotnim deformacijam in strukturnim spremembam pri varjenju.

V primeru varjenih konstrukcij in zelo debelih pločevin, kjer imamo opravka s trodimenzionalnimi napetostmi, sta čistoča in homogenost v strukturi jekla posebno važni. V tem primeru mora biti jeklo izotropno, z minimalnimi plastičnimi lastnostmi, ne samo vzdolžno in prečno na smer valjanja, ampak tudi po debelini; poleg tega mora biti to jeklo odporno proti krhkosti v hladnem.

Navesti bi mogli številna raziskovalna dela v svetu, kjer se ukvarjajo s problematiko čistosti in homogenosti kovin za varjene konstrukcije.

Z navedenim pa ne trdimo, da je treba specialno čista jekla uporabljati za vsako varjeno konstrukcijo, ampak samo tam, kjer je ekonomsko in tehnično opravičljivo. Na primer: navadno Siemens-Martin jeklo ustreza pri izdelavi bagerjev in goseničarjev, toda če bi jih stalno uporabljali pri zelo nizkih temperaturah, bi moralo biti jeklo čistejše, da bi bilo bolj odporno proti krhkemu lomu; podobno je s posodami, ki imajo zelo debele stene in delajo pri zelo visokih temperaturah in visokih pritiskih, n. pr. nekateri parni kotli, ohišja nuklearnih reaktorjev itd.

Gre pa tudi še za nejasne in neugodne strani »čiste kovine«. Bolj kot je kovina čista, manj fino je zrno, ker je zmanjšano število centrov strjevanja in rekristalizacije. Znano je npr., da je varnost nerjavnega jekla, pridobljenega pri električnem pretaljevanju v vakuumski peči, slabša. Prav tako ni še pojasnjen vpliv čistoče določenih jekel na trajnost varjenih spojev. Vsekakor pa je v splošnem bolje uporabljati čista jekla, predvsem pri uporabi postopkov talilnega varjenja.

Eden od možnosti uporabe »specialne elektro metalurgije«, tj. pretaljevanja pod žilindro, je tudi izdelava elektrod in žic, tj. dodatnega materiala za varjenje. Čim bolj je dodatni material čist, tem manj škodljivih elementov bo v zvaru, npr. žvepla in fosforja. Pri tem je izdelava elektrod in žic dražja, toda kvaliteta zvarjenih spojev boljša, kar je posebnega pomena za specialna in legirana jekla ali za bolj obremenjene varjene konstrukcije, pri katerih je važna predvsem tudi visoka žilavost zvarjenih spojev.

3. NAMEN RAZISKAVE

Ker je talina kovine pri postopku pretaljevanja prav tako kot pri postopku varjenja prekrita s talino žilindre, v kateri se dodatni material odtaljuje, so s tem dane možnosti za rafinacijo kovine in dodatno legiranje kot tudi za vnašanje inokulatorjev, tj. kalilotvorcev.

Osnovni namen raziskave je bil v tem, da med pretaljevanjem v kokilo eksperimentalno določimo optimalne pogoje, s katerimi bomo dosegli maksimalni efekt vpliva inokulatorjev.

V glavnem smo pričakovali:

- vpliv na zrnatost pretaljenega ingota
- vpliv na mehanske karakteristike vara;

predvsem smo zasledovali spremembe žilavosti in deloma vpliv na statične mehanske karakteristike pretaljenega materiala.

Menili smo, da bi iz ingotov, ki bi v teh predposkusih dali dobre rezultate, lahko izdelali žico, s katero bi dosegli boljše mehanske lastnosti zvarov pri varjenju v različnih tehnikah varjenja. Žica z inokulatorji je predvsem zanimiva za postopke varjenja, ki »delajo z veliko talino« in so zato zvari grobo kristalinični ter imajo sorazmerno nizke žilavosti: EPP, CO₂, ročno obločno varje-

nje z elektrodami večjih premerov itn., torej za postopke, ki se v praksi zaradi ekonomske upravičenosti iz dneva v dan vedno bolj uveljavljajo.

Če bi uspelo z vnašanjem inokulatorjev razviti žico, ki bi pri ekonomsko zanimivih postopkih varjenja dala zares ugodnejše rezultate, bi s tem uspelo razviti sodobne in perspektivne dodatne materiale za varjenje, ki bi zadovoljili tako ekonomske kot tudi tehnološke zahteve.

4. OPIS PREIZKUSOV

V kokilo z rahlo koničnimi zidovi višine 260 mm ali v kokilo kvadratnega presega smo talili žico z naslednjimi pogoji:

žica $\varnothing = 2,5$ mm

$I_{var} = 650$ A s + polom na elektrodi

$U_{var} = 32-44$ (odvisno od elektroprevodnosti taline praška)

$v_{žice} = 8,6-9,4$ m/min

količina hladilne vode = 5-6 l/min

začetna količina praška = 5 g/cm² osnovne ploskve ingota

Ferolegure smo dodajali direktno na talino žilindre v enakomernih časovnih presledkih (30 s), v točno določenih količinah (1,2; 2,4; in 4,8 g FeTi v prahu, zavitega v filtrirni papir).

Opravili smo tudi poskuse, da smo v jekleno cevko, ki je imela podobno kemično sestavo kot žica, ki jo pretaljujemo, dali ustrezno količino FeTi v prahu, nakar smo cevko montirali v kokilo in pustili, da se je med procesom varjenja odtaljevala z naraščanjem nivoja taline žilindre. Slaba stran tega postopka je v tem, da se kaj rado zgodi, razlogi so različni, da v določenem trenutku zdrsi vsa količina legiranega dodatka v talino.

Poskušali smo tudi z drugimi postopki dodajanja ferolegur; dodajanje z vpihavanjem s pomočjo argona direktno v kovinsko talino, dodajanje v mešanici s praškom za varjenje, vendar je iz praktičnih razlogov še najbolj uspevalo legiranje po prvem opisanem načinu.

Zelo dobre rezultate, enakomerno legiran zvar, smo dobili z legiranjem preko aglomeriranega praška, katerega smo dodajali med pretaljevanjem. Tak način bi bil zelo zanimiv pri praktičnih industrijskih pretaljevanjih, medtem ko je za laboratorijske metode nekoliko neprikladen, ker je priprava ene šarže praška (0,5 kg) precej zamudno delo. Tudi za primerjavo rezultatov je zadeva komplicirana, ker kot vezivo dodajamo še vedno steklo in s tem takoj nastanejo sicer dobro prevodni, vendar komplicirani kemični sistemi žilinder.

Kot legirani dodatek smo izbrali ferotitan, ki na prehodu skozi talino žilindre že reagira, nastajajo titanovi nitridi, karbonitridi in oksidi, ki imajo že kalilotvoren karakter.

Ko so bili rezultati poskusov večkrat potrjeni, je bila izdelana »receptura« za ožji izbor ingotov, katere smo prekovali v palice $\varnothing 10$ in jih nato potegnili v žice $\varnothing 4$ ali manj, da bi napravili s tako izdelano žico še varilno tehnične preizkuse.

5. RAZISKANI MATERIALI

5.1. Žica

Za vse preizkuse v raziskavi smo uporabili žico EPP 2 $\varnothing 2,5$, izdelek Železarne Jesenice.

Kemična sestava žice je naslednja:

C %	Si %	Mn %	S %	P %
0,09	0,04	1,10	0,022	0,018

Ker smo spremljali predvsem koncentracijo Ti v zvaru, smo namenoma izbrali žico z nekoliko višjo vsebnostjo Mn, razvili pa smo praške, ki so glede prigora ali odgora mangana skoraj nevtralni.

5.2. Praški

Kot osnovne komponente za izdelavo naših praškov smo uporabljali kalcit, kremen, rutil ter jedavec v prahu. Vse surovine so tehnične in zmlete v prah granulacije, ki se najpogosteje uporablja pri izdelavi elektrodnih plaščev.

V glavnem smo uporabljali taljene praške, deloma sintrane praške in le redko aglomerirane, čeprav menimo, da bi pri polindustrijskem načinu izdelave take žice ravno aglomerirani praški imeli velik pomen zaradi možnosti enakomernega legiranja ingota. Seveda bi morali ravnovesne pogoje še posebej določiti.

Poskusi, da bi z dodajanjem praška med varjenjem, kateremu bi dodali določeno količino ferotitana, dosegli enakomernjšo koncentracijo tega elementa v ingotu, niso bili uspešni, ker je zaradi razlik v gostoti in zrnatosti prišlo do zbiranja ferotitana na dnu posode s praškom, še zlasti v primeru mešanja s taljenim praškom.

Aglomeriran prašek ima v tem pogledu znatne prednosti, moramo pa pred mešanjem z vodnim steklom ferotitan pasivizirati.

5.3. Razviti sistemi praškov $\text{CaO-SiO}_2\text{-TiO}_2\text{-CaF}_2$

Ker za praktično pretaljevanje mora talina praška imeti ustrezno električno prevodnost, se nismo mogli zadovoljiti samo s teoretično ugodnimi sestavinami, ampak smo morali zadovoljiti tudi praktično zahtevo prevodnosti taline. Praški so bili sestavljeni na dveh osnovnih sestavah, in sicer:

- praški na osnovi monokalcijevega silikata in
- praški na osnovi di-kalcijevega silikata.

Del molekul silicijevega dioksida smo postopoma zamenjali z ekvivalentnim delom titan dioksida in smo na ta način dobili vrsto praškov. Za

ugodnejše tališče in boljšo prevodnost smo stehiometričnim mešančam na 1 gram mol CaO dodajali vedno 1 mol jedavca.

Količine so bile stehiometrično preračunane z ozirom na rezultate kemičnih analiz komponent.

Delna zamenjava SiO_2 s TiO_2 je imela osnovni namen preprečevati premočno oksidacijo titana pri prehodu fero-titana skozi plast žilindre v smislu zakona o delovanju mas, istočasno pa naj bi preprečila tudi premočno odstranjevanje oksidov titana iz taline kovine, ker nam fino dispergirani TiO_2 lahko služijo tudi kot inokulatorji.

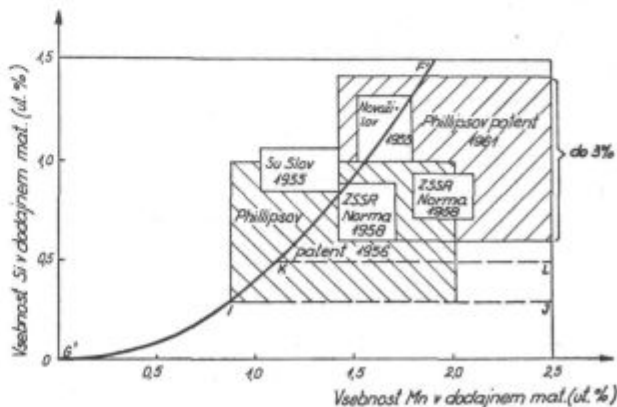
6. RAZISKAVE NA PRETALJENIH INGOTIH

Vsak ingot smo prežagali po vzdolžni osi, nakar smo ga obrusili in polirali ter ocenili videz makro strukture — rast dendritov — in makro kristaliničnost. Odvzeli smo vzorec približno na sredini ingota, kjer smo menili, da se je proces že stabiliziral, in določili mikro velikost kristalnih zrn.

Z večjimi povečavami smo mikroskopsko kvalitativno ocenjevali tudi vključke. Nekatere med njimi smo skušali tudi indentificirati s pomočjo mikro fizikalno-kemičnih metod (mikrosonda, elektronska difrakcija).

Glede mehanskih preiskav smo vedno merili žilavost vzorcev v pretaljenem stanju in žilavost normaliziranih vzorcev.

Pri nekaterih kombinacijah pretaljevanja je normalizacija izredno dvignila žilavost (celo do 30 kpm/cm² epruveta DVM). Žica iz takega materiala bi bila, recimo, zelo zanimiva za varjenje korenskega zvara v primerih, ko se nato vari še temenski varek z večjo količino vnesene toplote: tandem varjenje, koren v zaščiti CO_2 in teme varjeno EPP, kar v mnogih tovarnah redno uporabljajo pri serijski proizvodnji elementov nosilnih varjenih konstrukcij (krožni zvari na tlačnih cevovodih hidrocentral itd.)



Slika 1
Področja patentne zaščite za žico (elektrodo) pri obločnem varjenju v zaščiti CO_2 z ozirom na vsebnost dezoksidantov (Si, Mn)

Fig. 1
Patented wire compositions (Si, Mn) for gas shielded arc welding

Žilavostne preizkušance smo izdelali po predpisih DVM — okrogla zarez (20° C)

Rezultati meritev žilavosti so bili tudi v skladu z meritvami zrnatosti. Zarezne žilavosti vseh serij in kombinacij so bile med 0,5 in 15 kpm/cm².

Rezultati žilavosti pretaljenih vzorcev po normalizaciji v peči (920° C/20 min) pa so bili pri vseh serijah preizkusov in kombinacij med 14 in 28 kpm/cm².

7. KONČNE RAZISKAVE Z IZBRANIMI ŽICAMI

Vse raziskave izbranih žic smo izvedli primerjalno z žico, ki se v praksi redno uporablja.

Varili smo enoslojno z obeh strani na pločevini 20 mm — I zvar po postopku EPP. Čisti zvar smo izvedli po JUS C.H3.011, tabela 5 (vrednosti, ki so določene za premer elektrode Ø 10 mm).

Mehanske lastnosti zvara, varjenega enoslojno, so bile določene v smislu norme SSSR ON — 163 (Metal šva i svarnogo soedinenija), medtem ko so bile mehanske karakteristike zvara določene po JUS C.H3.011, s to razliko, da smo izdelali žilavostno epruveto v skladu s predposkusi z U-zarezo.

7.1. Uporabljeni materiali

7.1.1. Osnovni material

pločevina — 20 mm
kvaliteta — Č 0445 V

Mehanske lastnosti

Meja plastičnosti kp/mm ²	Trdnost kp/mm ²	Raztezek 5 d %	Kontrakcija %
36	47	28	61

Upogibni kot D — 2 a — 180°

varivost določena po JUS C.T3.051 : preizkušena in dobra

Kemična analiza:

C %	Si %	Mn %	S %	P %
0,17	0,18	0,53	0,019	0,017
T	20° C	0° C	— 20° C	— 40° C
a _k (DVM) kpm/cm ²	11,0	7,9	6,2	5,1

7.1.2. Žica (primerjalna)

EPP 2, Ø 4 mm, Železarna Jesenice, rahlo pobakrena

Kemična analiza:

C %	Si %	Mn %	S %	P %
0,10	0,05	1,04	0,022	0,016

Žica je po svoji kemični sestavi zelo podobna analizi žice Ø 2,5, s katero smo izdelali pretaljene ingote. Menimo, da bo zato efekt dolegiranja in inokulatorjev v primerjalni žici toliko bolj izražen (glej poglavje 5.1).

7.1.3. Prašek (primerjalni)

EP — 10 izdelek Železarne Jesenice.

Karakteristike praška:

Zrnatost po Tylerju: 12 × 48 (0,3—1,4 mm)

Oznaka po IIW-IIS: 11 ay 496

k = 0,07 za izračun globine uvara iz zveze

$$a = k \sqrt[3]{\frac{I^4}{U^2 v}}, \text{ pri uporabi (+) pola na žici}$$

7.2. Pogoji varjenja

7.2.1. Varjenje I-zvara z obeh strani na 20 mm pločevini

I_{var} = 800 A ± 30 A v_{var} = 40 cm/min

U_{var} = 32 V ± 1 V a = 13—14 mm

7.2.2. Varjenje čistega zvara; pogoji za posamezen varek:

Varka na stiku z osnovnim materialom (2)

I = 350 A

U = 36 V

v = 55 cm/min

a = 3—4 mm

Krovnj varki: (4)

I = 500 A

U = 35 V

v = 35 cm/min

a = 8 mm

7.3. Mehanske karakteristike zvara

7.3.1. Varjenje z enim varkom

Žica	Meja plastičnosti kp/mm ²	Trdnost kp/mm ²	Raztezek L=5d %	Kontrakcija %
EPP — 2	43,6	56,8	28	58
p 3 — II*	39,9	48,2	31	63
p 3 — IV*	42,1	54,3	27	54
p 4 — III*	41,6	55,8	28	50

* — razvite žice na osnovi rezultatov raziskave

Zarezna žilavost (kpm/cm² po DVM) pri varjenju z enim varkom

Žica	20° C	0° C	— 20° C	— 40° C
EPP — 2	10,2	8,4	6,5	4,7
p 3 — II*	13,7	10,1	7,7	6,1
p 3 — IV*	10,4	9,5	7,2	5,0
p 3 — III*	12,2	11,0	6,8	5,6

* — razvite žice na osnovi rezultatov raziskave

7.2.3 Varjenje čistega vara po JUS C.H3.011

Žica	Meja plastičnosti kp/mm ²	Trdnost kp/mm ²	Raztezek L=5d %	Kontrakcija %
EPP — 2	39,8	48,6	34	62
p 3 — II*	36,7	46,2	33	65
p 3 — IV*	40,6	51,2	29	60
p 3 — III*	39,2	51,5	30	58

* — razvite žice na osnovi rezultatov raziskave

Zarezna žilavost (kpm/cm² po DVM) pri varjenju čistega vara

Žica	20° C	0° C	— 20° C	— 40° C
EPP — 2	14,5	12,0	9,4	8,2
p 3 — II*	17,8	15,6	12,1	9,4
p 3 — IV*	15,6	16,2	14,1	10,7
p 3 — III*	18,2	16,0	15,5	9,8

* — razvite žice na osnovi rezultatov raziskave

8. POSKUS IZDELAVE ŽICE ZA VARJENJE V ZAŠČITI CO₂

Enak postopek, ki smo ga doslej uporabili, je zanimiv tudi za razvoj žice za varjenje v zaščiti CO₂. Posebnost tega razvoja je v tem, da moramo osvojiti žico z zadostno količino dezoksidantov (Si in Mn). Slika 1 prikazuje področja, ki so jih kot uporabna zaščitili s patentni. Zato smo poskušali pri pretaljevanju zadovoljiti to zahtevo na dva načina.

8.1. Pretaljevanje žice EPP-2 ter istočasno dodajanje FeMn, FeSi in FeTi

ter

8.2. Pretaljevanje žice VAC 60 z dodajanjem FeTi

Docela o uspehu lahko govorimo samo za poskuse 8.2., kar si pa razlagamo tako, da je pri dodajanju FeMn in FeSi skozi žlindro prišlo do vrste dodatnih reakcij in smo zato imeli v varu preveč inokulatorjev in drugih nečistoč ter zato relativno slabe žilavosti.

Pri pretaljevanju žice VAC 60 in z dodajanjem ferotitana pa smo dobili rezultate, ki so precej analogni opisanim poskusom varjenja po postopku EPP. Ta ugotovitev velja za primerjavo lastnosti žice VAC 60 z žico, ki smo jo dobili iz ingota po pretaljevanju žice VAC 60 z dodajanjem ferotitana.

9. ZAKLJUČKI

Na osnovi dobljenih rezultatov lahko napravimo naslednje zaključke:

— s pretaljevanjem pod elektro prevodno žlindro (EPŽ) ter s pravilno dodano količino ferotitana se lahko izdelajo ingoti, ki vsebuje inokulatorje

— ugotovili smo, da so inokulatorji v ingotu titanove spojine in sicer titanovi nitridi in karbo-nitridi

— delovanje inokulatorjev se manifestira v finozrnatosti kristalne strukture ingotov po strjevanju taline

— mehanske lastnosti zvarov, ki jih zvarimo po postopkih, ki imajo veliko talino, dajejo zware z relativno precej boljšimi mehanskimi karakteristikami kot pri uporabi žice sorodne sestave, vendar brez inokulatorjev

— naknadna normalizacija zvarov, vodi v primeru uporabe žice z inokulatorji k še znatnejšemu izboljšanju mehanskih karakteristik (zlasti žilavosti)

— dodatek inokulatorjev daje izrazito pozitivne rezultate v relativno ozkih mejah, ki se jih pri izdelavi žic moramo strogo držati

— postopek dodajanja ferotitana skozi talino žlindre ni preprost proces legiranja taline, ker pri tem postopku ferotitan reagira s taline žlindre. Pri tem nastajajo tudi spojine z visokim tališčem, ki se v finodispergiranem stanju porazdele v talini kovine in delujejo kot kalilitvorci.

10. ZAHVALA

Delo sta omogočila znanstveno-raziskovalni sklad Slovenije »Boris Kidrič« in znanstveno-raziskovalni sklad Zavoda za varjenje, za kar obema iskrena hvala. Prav tako gre prisrčna zahvala tudi vodji tehnološkega oddelka dipl. ing. Ivanu Limplu s sodelavci za pomoč pri izvedbi tega dela.

Literatura

1. P. Stular: Einfluss des Titans beim Elektroschlackenschweißen von Stahl. Schweißen und Schneiden, (Düsseldorf) Nr. 6/1967.
2. P. Stular: Vpliv titana in sistema praškov CaO-SiO₂-TiO₂-CaF₂ na metalurške in mehanske lastnosti zvarnih spojev pri elektro varjenju pod žlindro; disertacija na Fakulteti za strojništvo in ladjedelništvo Univerze v Zagrebu; junij 1969
3. P. Stular: The influence of titanium and flux composition on the notch toughness of welds at the structural electros slag welded steels; IIS/IIW Doc. Comm. XII-498-69 in Varilna tehnika, št. 3/1969 (Vpliv titana in sestave praškov na žilavost zvarov na konstrukcijskih jeklih, varjenih pod žlindro)
4. I. Limpl, P. Stular: Poizkus razvoja žice z vsebnostjo inokulatorjev; Zavod za varjenje, 1969; poročilo o raziskovalnem delu za znanstveno-raziskovalni sklad SRS »Boris Kidrič«
5. P. Stular: Vpliv toplotne obdelave na zarezo žilavost pri varjenju fino zrnatih jekel, Varilna tehnika št. 3/1970
6. P. Stular: The influence of titanium inoculators in welding wire on notch toughness in CO₂ — UP-ES welding; IIS/IIW Doc. Comm. XII-B-103-72 in Varilna tehnika, št. 1/1972 (Vpliv titanskih inokulatorjev v varilni žici izdelani po postopku elektro pretaljevanja pod žlindro na zarezo žilavost pri varjenju v zaščiti CO₂ pod praškom (EPP) in pod žlindro (EPŽ))

7. P. Stular: Pretaljevanje pod žlindro — poskus izdelave kvalitetnega dodatnega materiala za varjenje; mednarodno posvetovanje »Kvaliteta u zavarivanju« Zagreb, maj 1972, Posebna publikacija Zveze društev za varilno tehniko SFRJ
8. P. Stular: Über einige Legierungseffekte beim Schweißen, Schweisstechnik (Wien) H. 8/1973
9. M. Wahlster, A. Choudhury, K. Forch: Einfluss des Umschmelzens nach Sonderverfahren auf Gefüge und einige Eigenschaften von Stählen; »Stahl und Eisen« 88 H. 22/1968
10. W. Holzgruber, E. Plöckinger: Metallurgischen und verfahrenstechnische Grundlagen des Elektroschlacke-Umschmelzens von Stahl; »Stahl und Eisen«, H. 12/1968
11. B. E. Paton, E. J. Medovar, V. Lataš: Avtomatičeskaja svarka št. 11/1958
12. I. Vrpoljac: Praktična primjena postupka zavarivanja pod troskom u radionici; Zavarivanje, Zagreb, št. 1 in 2/1973
13. B. Koroučić: Vpliv elektro pretaljevanja pod žlindro na kvaliteto jekla za kroglične ležaje (OCR 4 ex Sp); Zvezarski zbornik, št. 4/1971.

ZUSAMMENFASSUNG

Auf Grund der Untersuchungen und der Entwicklung des Elektroschlackenschweißens, haben wir das Elektroschlackeumschmelzverfahren für die Entwicklung der Schweißdrähte angewandt. Aus den erschmolzenen Blöcken haben wir Schweißdrähte gefertigt, welche für bestimmte Schweißverfahren, bei denen die Schweißschmelze relativ gross ist (zum Beispiel, für das Unterpulverschweißen, für das Schutzgasschweißen mit CO_2 , für das Elektroschlackenschweißen u. s. w.), interessant sein könnten. Aus einer so grossen Schmelze entsteht ein Schweißgut mit relativ grobem Gussgefüge und niedriger Zähigkeit. Mit dem Zusatz eines Inokulators (Ferrotitan) in die Schlackenschmelze haben wir eine feinkörnige Kristallisation der relativ grossen Schweißschmelzen verursacht und damit die Zähigkeit verbessert.

Ferrotitan ist durch die Schlackenschmelze zugegeben worden. Titan reagierte im erheblichen Masse mit der

Schlackenschmelze, und ist in die Stahlschmelze nur zum Teil in elementaren Zustand und zum Teil in Form der Verbindungen übergegangen.

Ein positiver Einfluss bestimmter Menge von Ferrotitan, als Inokulator, im Schweißdraht, ist damit bewiesen worden. Im Artikel sind Vergleichsergebnisse der mechanischen Eigenschaften des Schweißgutes, nach den erwähnten Schweißverfahren, mit üblichen und nach dem beschriebenen Verfahren erzeugten Schweißdrähten angegeben.

Es ist verständlich, dass für eine ökonomische Erzeugung der Schweißdrähte im ESU Verfahren, Industrieanlagen zur Verfügung sein müssen, um die laboratorischen Ergebnisse in die halbindustrielle und industrielle Praxis einführen zu können.

SUMMARY

Investigating and developing of the electroslag welding process enabled that a similar process of electroslag remelting for welding wire manufacturing was applied and developed at the Institute of Welding in Ljubljana. The remelted ingots were used in manufacturing the welding wire which can be applied in welding a relatively big molten pool, i.e. automatic submerged welding, gas shielded arc welding, electroslag welding, etc. Such a big molten pool, i.e. automatic submerged processes, where occur welding, gas shielded arc welding, electroslag welding, etc. Such a big molten pool causes a relatively coarse grain structure (cast structure) of the weld which has therefore a low notch toughness. Additions of inoculator (ferrotitanium) in the slag melt causes a fine grained crystallization of relatively big molten pools, thus improving the notch toughness.

The adding of inoculator was solved by adding the ferrotitanium through the layer of molten slag, thus ferrotitanium reacted with the molten slag and came into the molten metal partially in elementary form and partially in form of compounds.

Doubtless, addition of ferotitanium as an inoculator has a positive influence. Comparative results of mechanical properties of welds welded by previously mentioned methods using once usual welding wires and then the wires manufactured by electroslag remelting are cited in the paper.

To justify economically this manufacturing process for the welding wire, the laboratory results must be transferred into a semi- and industrial praxis.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании исследований и развития электросварки под электрическо-проводным шлаком в Институте для сварки Словении в Любляне употреблен вариационный способ переплавки под электрически проводным шлаком с целью дальнейшего усовершенствования сварочной проволоки. Сварочную проволоку приготовили из переплавленных слитков качеств, которые представляют собой интерес для процессов сварки с относительно большого количества расплавленного сварочного соединения (напр. автоматическая сварка под флюсом, дуговая сварка в защитной атмосфере CO_2 , электросварка под электро-проводным шлаком и пр.) В таком большом расплаве образуется относительно крупнозернистое сварочное соединение, литой структуры, низкой надразной вязкости. При добавке модификатора (ферротитана) в расплавленный шлак получена мелкозернистая кристаллизация относительно больших сварочных соединений. Этим способом улучшена надразная вязкость.

Способ подачи модификаторов состоит в давки ферротитана через слой расплавленного шлака; таким образом большая часть ферротитана вступила в реакцию с шлаком и только меньшая часть перешла в расплавленный металл частично в элементарном состоянии, частично в форме соединений.

Неоспоримо доказано положительное влияние определенного количества добавки ферротитана как инкулятора в сварочной проволоки.

В статье приведены механические характеристики сварочных соединений сравнивая обыкновенные сварочные проволоки с проволоками усовершенствованные описанным способом.

Само собой разумеется, что с экономической точки зрения для приготовления сварочной проволоки описанным способом необходимо изготовить промышленное устройство для переплавки и перенести лабораторные исследования в полупромышленное и промышленное выполнение.