

Varjenje močno legiranih jekel z oplaščenimi elektrodami

Welding of high-alloy steels with covered electrodes

RAJKO KEJŽAR¹, LADO KOSEC², UROŠ KEJŽAR³

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

E-mail: rajko.kejzar@fs.uni-lj.si

² Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za materiale in metalurgijo,

Aškerčeva cesta 12, 1000 Ljubljana; E-mail: kosec@ntf.uni-lj.si

³ ISKRA VARJENJE, Stegne 21c, 1000 Ljubljana; E-mail: uros.kejzar@iskra-varjenje.si

Received: April 12, 2007

Accepted: October 1, 2007

Izvleček: Oplaščene elektrode so primerne za varjenje in navarjanje močno legiranih jekel. Var lahko legiramo tako preko legirane elektrodne žice, kot tudi preko elektrodne obloge. Zgradba elektrode pomembno vpliva na njeno uporabnost, ki v največji meri zavisi od ionizacije obloka, odtaljevanja in legiranja vara. Pri varjenju z oplaščenimi elektrodami je sestava elektrodne obloge, od katere zavisi stabilnost ter produktivnost in izkoristek varjenja, odločilna za nastajanje varilne žilindre in osnovnega pomena za varilnotehnične lastnosti elektrode. Varjenje s tanko oplaščenimi močno legiranimi elektrodami (legiranje vara preko žice) je neproduktivno, ker je odtaljevanje grobo kapljičasto. Pri varjenju z debelo oplaščenimi močno legiranimi elektrodami (legiranje vara preko obloge), pa je odtaljevanje fino kapljičasto – pršeče, kar povzroči izboljšanje produktivnosti. Težave pa nastopijo pri varjenju v prisilnih legah. Zaradi visokih minimalnih izkoristkov varjenja pride do omejitev glede uporabnosti teh elektrod.

Abstract: Covered electrodes are suitable for welding and surfacing of high-alloy steels. Alloying of the weld metal can be accomplished by both an electrode wire and an electrode covering. The electrode composition has a major influence on its usability that mainly depends on arc ionisation, melting-off, and alloying of the weld metal. In welding with a covered electrode, the electrode-covering composition, on which stability, welding productivity, and efficiency depend, is a deciding factor in the formation of welding slag and of basic importance for welding characteristics of the electrode. Welding with thin-coated high-alloyed electrodes (alloying of the weld metal by the wire) is unproductive since melting proceeds in coarse drops. In welding with thick-coated high-alloyed electrodes (alloying of the weld metal by the covering), melting proceeds in fine droplets, which increases productivity. Difficulties, however, are encountered in welding out of po-

sition. Because of high minimum welding efficiencies, there are certain limitations as to the applicability of these electrodes.

Ključne besede: oplaščene elektrode, odtaljevanje, legiranje vara preko žice, legiranje vara preko obloge

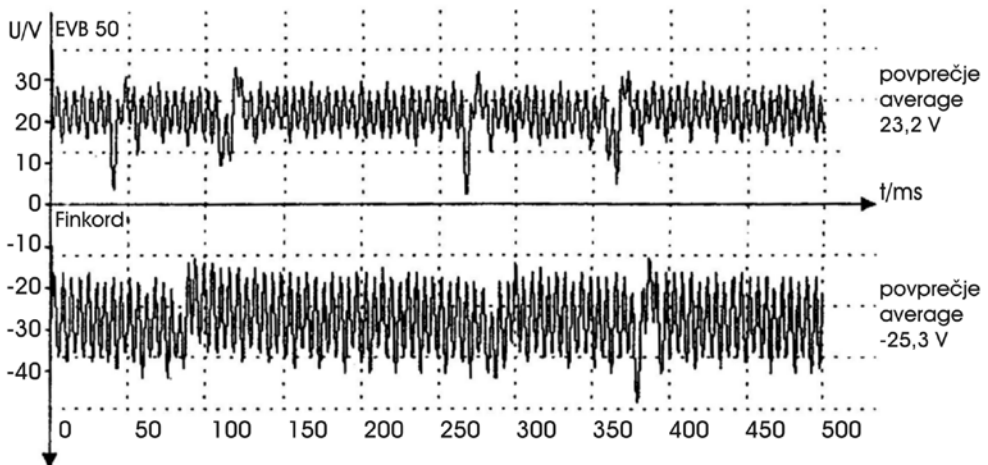
Key words: covered electrodes, melting-off, alloying of the weld metal by the wire, alloying of the weld metal by the covering

Uvod

Pri varjenju z oplaščenimi elektrodami je sestava oplaščenja bistvenega pomena za kvaliteto zvarov in navarov. Oplaščenje odločilno vpliva na stabilnost varjenja (ionizacija obloka) in odtaljevanje elektrode^[1].

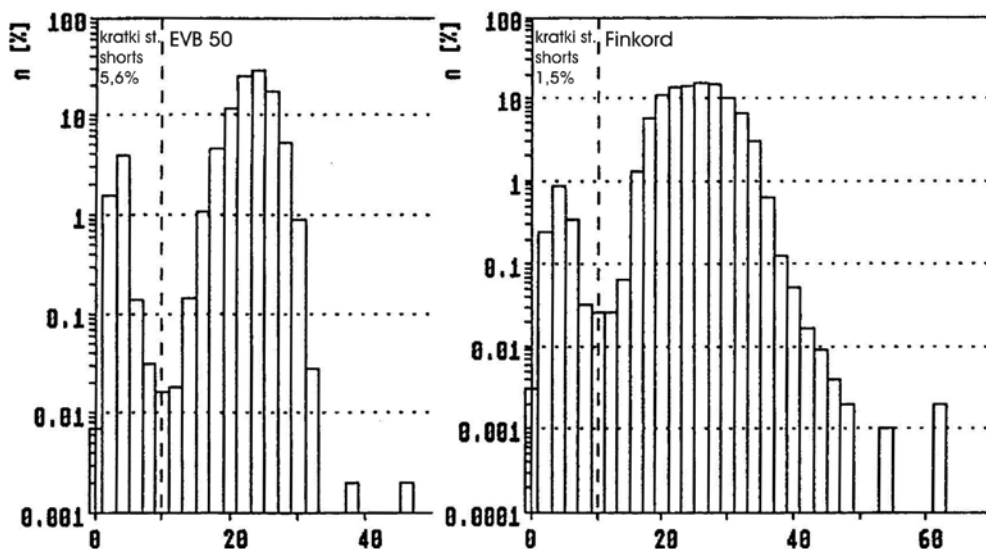
Pri varjenju z rutilno in kislno oplaščenimi elektrodami (npr. Finkord), je varjenje zelo stabilno - oblok je dobro ioniziran,

zato običajno varimo z izmeničnim ali pa enosmernim tokom na minus pol, odtaljevanje je finokapljičasto in pršeče z zelo malo kratkih stikov (glej sliki 1 in 2). Pri varjenju z bazično oplaščenimi elektrodami (npr. EVB 50), pa moramo zaradi slabe ionizacije obloka variti z enosmernim tokom na plus pol, odtaljevanje je grobo kapljičasto s pogostimi kratkimi stiki (glej sliki 1 in 2).



Slika 1. Časovno spreminjanje varilne napetosti pri varjenju z elektrodama EVB 50 in Finkord^[2]

Figure 1. Time variation of welding voltage in welding with electrodes EVB 50 and Finkord^[2]



Slika 2. Statistična porazdelitev napetosti in ocena deleža kratkih stikov pri varjenju z elektrodama EVB 50 in Finkord^[1]

Figure 2. Statistical distribution of voltage and assessment of fraction of short circuits in welding with electrodes EVB 50 and Finkord^[1]

Preko elektrodne obloge lahko tudi legiramo navar. Tako sestava legirane varilne žice, kot tudi dezoksidanti in legirni elementi v oplaščenju, vplivajo na odtaljevanje in stabilnost varjenja. Odtaljevanje pri oplaščenih elektrodah, ki so izdelane iz močno legiranih žic, je bolj grobo kapljičasto, kot odtaljevanje pri oplaščenih elektrodah, pri katerih je legiranje in dezoksidacija preko elektrodne obloge^{[3],[4]}. Ker je oplaščenje elektrode lahko rutilno kislo ali pa bazično, poznamo najmanj štiri osnovne tipe elektrod^[4].

I. Rutilno kislo oplaščene elektrode:

- a) legiranje vara preko elektrodne žice in
- b) legiranje vara preko elektrodne obloge

II. Bazično oplaščene elektrode:

- d) legiranje vara preko elektrodne žice in
- e) legiranje vara preko elektrodne obloge

ODTALJEVANJE MOČNO LEGIRANIH ELEKTROD

Legiranje navara preko elektrodne žice

Tako rutilne kot tudi bazične elektrode so tanko oplaščene (f.opl = 1,4). Preko obloge le dezoksidiramo in stabiliziramo navar z manganom in niobijem.

Odtaljevanje rutilno oplaščenih močno legiranih elektrod je bolj fino kapljičasto, podobno kot odtaljevanje pri varjenju s Finkord elektrodami, pri katerih zaradi oksidativnosti obloge pride do pršечеge

odtaljevanja (eksplozije kapljic, zaradi nastajanja ogljikovega monoksida; $[C] + [O] = \{CO\}$). Pri bazično oplaščenih močno legiranih elektrodah pa je odtaljevanje grobo kapljičasto - celo bolj kot pri varjenju z elektrodami EVB 50. Velikost odtaljenih kapljic je nad 4 mm. Pri varjenju z rutilno oplaščenimi močno legiranimi elektrodami pa se odtaljujejo predvsem bolj drobne kapljice (pod 2 mm). Kemična sestava kapljic je tako pri rutilno oplaščenih elektrodah, kot tudi pri bazično oplaščenih elektrodah, zelo podobna kemični sestavi vara (tabela 1)^[5].

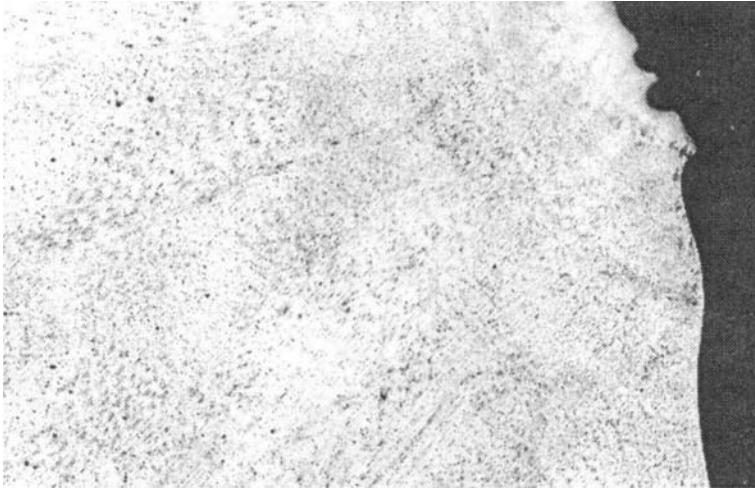
Tabela 1. Kemične sestave varov in odtaljenih kapljic različne velikosti pri varjenju z močno legiranimi elektrodami (legiranje vara preko žice)

Table 1. Chemical compositions of weld metals and melted droplets of various sizes in welding with high-alloyed electrodes (weld-metal alloying by the wire)

Vzorec / Sample		Kemična sestava / Chemical composition (%)			
		Si	Cr	Ni	Nb
Rutilno opl. el / Rutile:	Var / weld metal	1,38	16,6	8,5	1,41
	Nad / above 2 mm	1,80	16,9	9,1	0,75
	Nad / less than 2 mm	1,87	17,6	9,2	0,75
Bazično opl. el. / Basic:	Var / weld metal	1,32	18,1	8,8	1,30
	Nad / above 4 mm	1,16	19,4	8,8	0,84

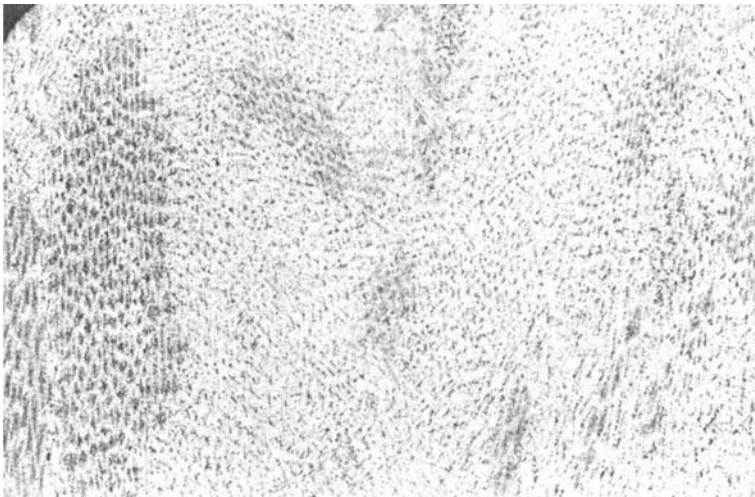
Iz rezultatov kemičnih analiz je razvidno, da so izgube legiranih elementov zaradi odgorevanja in dezoksidacije vara pri rutilno oplaščenih elektrodah večje, kot pri bazično oplaščenih. Pri bazično oplaščenih elektrodah je že na stopnji kapljice dezoksidacija zaključena. Pri rutilno oplaščenih elektrodah pa visoka vsebnost silicija v kapljici še na stopnji kopeli dezoksidira var.

Mikrostruktura kapljic, ki nastanejo pri varjenju tako z rutilno kislimi, kot tudi bazičnimi elektrodami, je ne glede na njihovo velikost podobna mikrostrukturi vara, ki je drobnozrnata avstenitna (slika 3 in 4).



Slika 3. Mikrostruktura kapljice (pod 2 mm) pri varjenju z rutilno oplášeno elektrodo – pov. 50 x

Figure 3. Droplet microstructure (below 2 mm) in welding with rutile electrode. x50



Slika 4. Mikrostruktura kapljice (nad 4 mm) pri varjenju z bazično oplášeno elektrodo – pov. 50 x

Figure 4. Droplet microstructure (above 4 mm) in welding with basic electrode. x50

Legiranje in dezoksidacija vara je zelo nezotermičen proces^[6]. Ravnotežje reakcij dezoksidacije in hitrost procesov se s temperaturo spreminjata. Na stopnji kapljice potekajo procesi bistveno hitreje, kot v kopeli vara. Pri rutilno oplaščenih elektrodah poteka dezoksidacija in legiranje, kot je razvidno iz kemičnih sestav vara in kapljic, zelo zanimivo. Predvsem niob, ki kapljice legira preko obloge, pri visokih temperaturah obloka močno reducira SiO_2 iz obloge in s tem povzroči visok prigor Si v kapljici. Visok silicij pa pri nižji temperaturi kopeli vara reducira dezoksidacijske produkte (predvsem Nb_2O_3). Vsebnost silicija v navaru se zato zniža, nioba pa zviša. Dezoksidacija pri varjenju z rutilno kislimi elektrodami se zaključi šele v kopeli vara, pri varjenju z bazično oplaščenimi elektrodami (legiranje preko žice) pa je praktično zaključena že na stopnji kapljice.

Legiranje navara preko elektrodne obloge

Elektrode pri katerih poteka legiranje navara preko elektrodne obloge so debelo oplaščene ($f\text{-opl.} = 1,85$). Preko obloge moramo legirati navar z zadostno količino legirnih elementov. Izkoristki varjenja so zato pri teh elektrodah zelo visoki - okoli 180 %, kar je zelo neugodno pri varjenju v prisilnih legah^[4]. Tudi odtaljevanje in legiranje vara poteka nekoliko drugače, kot pri varjenju s tanko oplaščenimi elektrodami, ko legiranje navara poteka preko močno legirane elektrodne žice.

Odtaljevanje žice, ki je pri elektrodah z veliko vsebnostjo legirnih elementov in dezoksidantov v oblogi, nelegirana in običajno tudi nepomirjena, je nekoliko bolj fino kapljicasto. Največja razlika pa je v prenosu

legirnih elementov iz obloge v var, ki delno poteka preko legiranja kapljic, delno pa v zelo finih kapljicah kar direktno v var. Posledica tega načina prenosa je, da imamo tudi pri varjenju z bazično oplaščenimi elektrodami (legiranje preko obloge) poleg večjih tudi drobne kapljice – podobno, kot pri varjenju z rutilno oplaščenimi elektrodami. Iz kemične analize kapljic pa je razvidno, da so drobne kapljice raztaljeni dodatki kovin in zlitin, ki so dani v oblogo za legiranje in dezoksidacijo vara (tabela 2)^[5].

Iz rezultatov kemičnih analiz čistih varov in odtaljenih kapljic je lepo vidno, da večji del procesov legiranja in dezoksidacije var poteče že na stopnji kapljice (preko 90 %). Kovinski dodatki v elektrodni oblogi za legiranje in dezoksidacijo vara, legirajo že kapljice, ki se odtaljujejo od nelegirane žice. Sestava večjih odtaljenih kapljic je praktično enaka sestavi vara. Odstopanja so le pri legiranju in dezoksidaciji vara s silicijem in niobom pri varjenju z rutilno kislino oplaščenimi elektrodami, ker niob pri visokih temperaturah obloka reducira SiO_2 v oplaščenju ter povzroči višji prigor silicija v kapljici. Na stopnji kopeli vara pa silicij reducira nekatere dezoksidacijske produkte, kar povzroči znižanje Si in porast Nb v čistem varu, podobno kot smo ugotovili tudi pri varjenju z rutilno kislino oplaščenimi elektrodami, ko je bilo legiranje vara preko žice.

Mikrostruktura večjih kapljic je fino zrna avstenitna in že podobna mikrostrukturi varov, le dezoksidacija še ni povsem zaključena. Pri kapljicah bazično oplaščenih elektrod (slika 5), je potekla bolj daleč, kot pri kapljicah rutilno oplaščenih elektrod

(slika 6), kar je razvidno iz bolj učinkovitega očiščenja kovine kapljice.

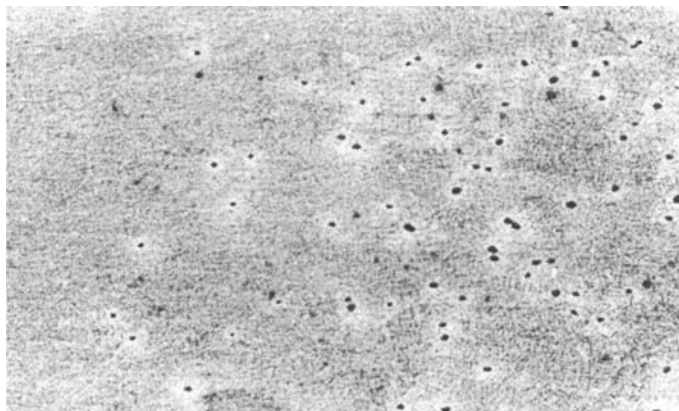
Vse zelo drobne kapljice (pod 2 mm), tako pri bazično, kot tudi rutilno kisló oplá-

šenih elektrodah (slika 7), pa so skupek dezoksidacijskih in legirnih dodatkov in so si glede mikrostrukture povsem podobne^[5].

Tabela 2. Kemične sestave čistih varov in odtaljenih kapljic različne velikosti pri varjenju z močno legiranimi elektrodami (legiranje vara preko obloge)

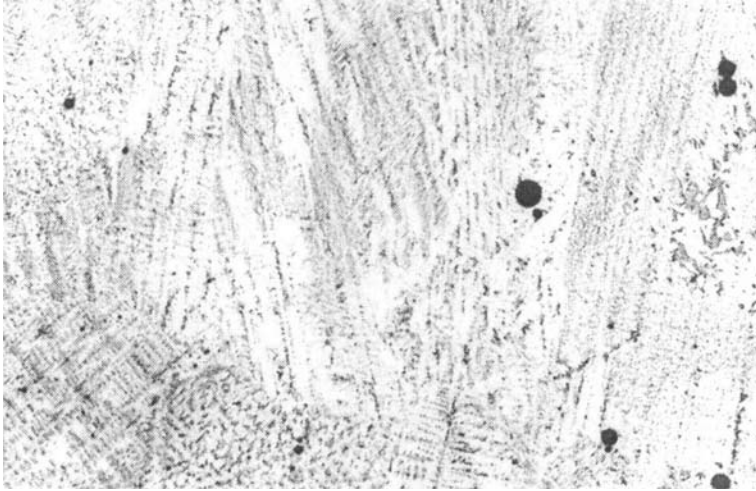
Table 2. Chemical compositions of all weld metals and melted droplets of various sizes in welding with high-alloyed electrodes (weld-metal alloying by the coating)

Vzorec / Sample		Kemična sestava (%) / chemical composition (%)			
		Si	Cr	Ni	Nb
Rutilno opl. el / Rutile:	Velikost kapljice / droplet size				
	Var / weld metal	1,04	20,3	8,8	0,63
	Nad / above 4 mm	1,40	20,2	9,4	0,64
	2-3 mm	1,18	23,8	9,0	0,46
Bazično opl. el. / Basic:	Pod / less than 2 mm	2,18	34,4	21,7	0,69
	Var / weld metal	0,96	20,8	9,5	1,18
	Nad / above 4 mm	0,76	20,1	8,4	0,61
	2-3 mm	1,12	22,0	8,4	0,68
	Pod / less than 2 mm	2,48	40,4	15,9	3,04



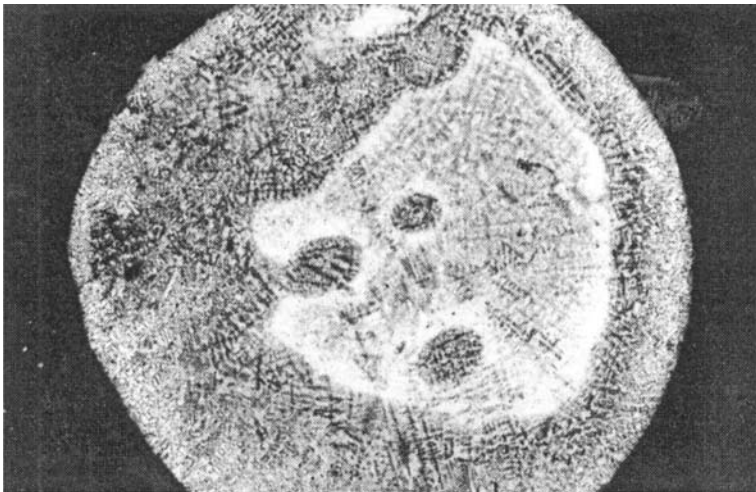
Slika 5. Mikrostruktura kapljice (nad 2 mm) pri varjenju z bazično oplášeno elektrodo; temne pike so bogate z niobom – pov. 50x

Figure 5. Droplet microstructure (above 2 mm) in welding with basic electrode; dark spots are rich in niobium. x50



Slika 6. Mikrostruktura kapljice (pod 2 mm) pri varjenju z rutilno kislno oplaščeno elektrodo; temne pike so dezoksidacijski vključki – pov. 50x.

Figure 6. Droplet microstructure (below 2 mm) in welding with rutile-acid electrode; dark spots are deoxidation inclusions. x50



Slika 7. Mikrostruktura zelo drobne kapljice (pod 2 mm) pri varjenju z rutilno kislno oplaščeno elektrodo; svetla polja so bogata s kromom, temnejša pa z nikljem – pov. 50x.

Figure 7. Microstructure of very fine droplet (below 2 mm) in welding with rutile-acid electrode; light spots are rich in chromium and darker spots in nickel. x50

SKLEPI

Pri varjenju z oplaščenimi elektrodami sestava elektrodne obloge odločilno vpliva na varilno tehnične lastnosti elektrode. Z rutilno kislimi elektrodami lahko varimo z izmeničnim tokom in enosmernim tokom na minus pol. Oblok je zelo dobro ioniziran, zato je varjenje stabilno, odtaljevanje kapljic pa fino kapljičasto z zelo malo kratkih stikov (pod 2 %). Pri bazično oplaščenih elektrodah pa je oblok slabše ioniziran, zato moramo z njimi variti z enosmernim tokom na plus pod. Odtaljevanje kapljic pa je grobo kapljičasto s pogostimi kratkimi stiki (preko 5 %).

Preko elektrodne obloge pa lahko tudi legiramo in dezoksidiramo navar. Pri močno legiranih oplaščenih elektrodah je odtaljevanje bolj grobo kapljičasto, še posebno, če je oplaščenje elektrode bazično. Zanimivo je, da legirni in dezoksidacijski kovinski dodatki v elektrodni oblogi legirajo in dezoksidirajo že kapljice, ki se odtaljujejo od nelegirane žice. To pomeni, da večji del procesov legiranja in dezoksidacije

med varjenjem poteče že na stopnji kapljice (preko 90 %). Odstopanja so le pri legiranju in dezoksidaciji vara s silicijem in niobom pri varjenju z rutilno kislom oplaščenimi elektrodami, ker niob pri visokih temperaturah obloka močno reducira SiO_2 v oplaščenju ter povzroči visok prigor Si v kapljici. Na stopnji kopeli vara pa silicij reducira produkte dezoksidacije (predvsem Nb_2O_5), kar ima za posledico znižanje silicija in zvišanje nioba v navaru.

Manjši del legirnih in dezoksidacijskih dodatkov pa legira navar preko zelo drobnih kapljic, ki nastajajo z zlivanjem. Zelo drobne kapljice so zato močno legirane in nehomogene, velike kapljice pa tako po mikrostrukturi, kot tudi kemični sestavi podobne sestavi varov.

Prednost bazičnega oplaščenja je intenzivnejše legiranje in dezoksidacija vara. Izgube legirnih dodatkov so manjše. Hiba pa je slabša ionizacija obloka, zato z njimi lahko kvalitetno varimo le z enosmernim tokom na plus pol.

SUMMARY

Welding of high-alloy steels with covered electrodes

In welding with covered electrodes, the composition of an electrode coating has a decisive influence on technical features of the electrode. Rutile-acid electrodes permit welding with alternating current and direct current negative. The arc obtained is well ionised; therefore, welding is sta-

ble and melting-off proceeds in fine droplets with very few short circuits (below 2 %). With basic covered electrodes the ionization of the arc is poorer; therefore, welding should be carried out with direct current positive. Melting-off proceeds in coarse drops with frequent short circuits (above 5 %), (see Figures 1 and 2).

By means of the electrode coating a surfacing weld may be alloyed and deoxidized. With high-alloy covered electrodes

melting-off proceeds in coarse drops, particularly if the electrode coating is basic. It is interesting that alloying and deoxidizing metal additions to the electrode coating produce alloying and deoxidization of the droplets melting off from an unalloyed wire. This means that the major part of alloying and deoxidation processes during welding occur at the stage of droplets (over 90 %) (see Tables 1 and 2, and Figures 3 through 6). There are some deviations only in case of alloying and deoxidation of a weld metal with silicon and niobium in welding with a rutile-acid electrodes because niobium at high arc temperatures strongly reduces SiO_2 in the coating and produces a high pick-up of Si in a droplet. At the stage of a weld pool, silicon, however, will reduce products of deoxidation (particularly Nb_2O_5), which will result in silicon reduction and an increase in ni-

bium in the surfacing weld (see Tables 1 and 2).

A minor portion of the alloying and deoxidizing additions, however, will alloy the surfacing weld via very fine droplets produced by fusion (see Figure 7). Consequently, the fine droplets are strongly alloyed and non-homogeneous whereas coarser droplets are similar, in terms of microstructure and chemical composition, to the weld metal (see Figures 3 through 6, Tables 1 and 2).

An advantage of the basic coating consists in more intense alloying and deoxidation of the weld metal. Losses of the alloying additions are small. Its disadvantage, however, is poorer ionization. Consequently, quality welding requires the use of direct current positive.

VIRI

- [1] KEJŽAR, R., KRALJ, V., REHFELDT, D. (1991): Analiza obloka z analizatorjem, Hannover AH-7. *Poročilo ZRMK*. Ljubljana, 1991.
- [2] KEJŽAR, U., KEJŽAR, R. (2001): Izpopolnjevanje programske opreme za opazovanje električnih parametrov varjenja. *Poročilo o delu*. Fakulteta za strojništvo Univerze v Ljubljani, Ljubljana, 2001.
- [3] BECKEN (1970): Werkstoffübergang bei Schweisselektroden. *Schweissen und Schneiden* 22. Düsseldorf, 11, str. 478/479.
- [4] KEJŽAR, R. (1975): Vpliv dezoksidantov na vsebnost kisika v čistem varu in izkoristek Cr iz plašča pri elektroobločnem varjenju. *Železarski zbornik* 9. Jesenice, 1, str. 19/27.
- [5] KOSEC, L., KEJŽAR, R., RALIČ, B. (1974): Mehanizem legiranja varov – analiza produktov varjenja. *Poročilo Metalurškega inštituta*. Ljubljana, 1974.
- [6] EVOHIN, A.A. (1965): *Kinctika metallurgičeskikh processov dugovoj svarki*. Mašinostroenie, Moskva.