

## IZGUBE MATERIALA PRI ELEKTROUPOROVNEM VARJENJU VERI@NIH ^LENOV

### MATERIAL LOSSES BY RESISTANCE WELDING OF CHAIN LINKS

FRANC LEGAT

Zabreznica 36, 4274 @irovnica

*Prejem rokopisa - received: 1997-10-01; sprejem za objavo - accepted for publication: 1997-12-19*

Opisane so izgube materiala in poraba energije pri razli-nih postopkih izdelave verig z varjenjem z elektri-nim tokom.  
Klju-ne besede: jeklo, verige, elektrouporovno in ob' igalno varjenje, izkoristek materiala

Materials losses and energy use by different methods of manufacturing of chains by electrical welding.  
Key words: steel, chains, electrical resistance welding, materials losses

Ena od najva'nej{ih nalog konstruktorjev in tehnolo-gov je izdelati proizvode s ~im manj materiala. Zato mora biti le-ta izbran v taki obliki in s takimi lastnostmi, da nastane pri proizvodnji najmanj{i mo' ni odpadki, da se porabi za proizvodnjo ~im manj energije in je obde-lava najmanj{a in najhitrej{a.

Glavni prihranek osnovnega materiala je pri pripravi postopkov izdelave. Druge prihranke prina{ajo moderni-zacija tehnologije, racionalizacije pri delu in izbolj{ane konstrukcije. Tudi pri proizvodnji verig vseh vrst se sre-ujemo s te'avami, ki imajo odlo-ujo- vpliv na po-rabo jekla, in i{-emo re{itve, to so:

- uporaba ~im ve-jih kolobarjev valjane 'ice, ker se s tem 'e zmanj{a odpadki zadnjega konca 'ice
- izlo-anje materiala zaradi proizvodnih napak z vhodno kontrolo
- zmanj{evanje dimenzijskih toleranc materiala na manj{a toleran-na polja
- dobro vzdr'evanje upogibalnih in varilnih strojev, s ~imer prepre-imo nastajanje slabih ~lenov
- uporaba pravih jekel za dolo-ene vrste verig tako lah-ko, na primer, debelej{e verige iz navadnih jekel zamenjamo s tistimi iz legiranih, ki imajo pri enaki nosilnosti manj{o metrsko maso in jih zato la'e upravljamo
- na varilnih in upogibalnih progah lahko vgradimo varilne stroje, ki medsebojno spajajo palice in 'ice. Tako dobimo brezkon-no 'ico brez ostalih koncev (repov). Ta ukrep pride v po{tev samo pri mehkih, nizkoogljji-nih jeklih.

Zelo pomemben je odpadki pri varjenju. Oglejmo si najprej ob' igalno varjenje, ki je v praksi precej raz{i-rjeno. Spoj z ob' igalnega stroja ima zaradi vi{jih tem-peratur (do 3000°C) dosti bolj {irok zvar, ve-je, bolj {iroko razogljji-enje in grobozrnato Widmanstattska strukturo. Prav zaradi teh napak oziroma mejnih posledic varjenja je dostikrat potrebna normalizacija za izena-itev

mikrostrukture, ~prav se verige nato {e pobolj{ajo. Pri verigah z manj{im premerom ta napaka ni tako o-itna, zato se uporablja pobolj{anje brez predhodne normali-zacije. Razlike so majhne in prakti-no ne vplivajo na lastnosti verig pri uporabi.

S stali{-a odgora, izgube materiala in spremembe koli-ine legirnih elementov zaradi difuzije v zvaru in njegovi okolici pa ima novo elektrouporovno varjenje brez ob' iganja, postopek KEH, znatno prednost. Razlike do danes niso zmanj{evale uporabne vrednosti verig, v bodo-e pa bo pomen legirnih elementov ve-ji, zato bo treba upo{tevat dogajanje med varjenjem.

Ob' igalno varjenje je {e vedno konkuren-no, posebej pri ve-jih dimenzijah ~lenov in opreme. Sistem KEH pri premerih nad  $\phi$  26 mm nima prihodnosti, dokler ne pride do uporabe za{-itne atmosfere, ki bo prepre-ovala oksidacijo v zvaru in s tem omogo-ala ~iste zve. Napredek pri ob' igalnem varjenju predstavlja uporaba enosmer-nega toka in posebne kontrolne regulacije. Taki stroji so 'e v uporabi, zato je koristno poznati ve- njihovih zna-ilnosti.

Tudi ob' igalno varjenje z izmeni-nim tokom se raz-vija naprej, ker je {e nere{ena vrsta problemov, ki pa imajo odlo-ilen vpliv na varjenje. Curek isker, ki nastaja pri varjenju, ni samo izguba materiala in energije, ampak tudi onesna'uje okolico stroja in zelo pove-uje stroj{ke vzdr'evanja. Kapljice kovine ostajajo tudi na izdelanih veri' nih ~lenih.

Razvoj polprevodni{ke tehnike je omogo-il tudi raz-voj varjenja z enosmernim tokom. Teoreti-no je z njim mogo-e prinesiti v zvar v enoti ~asa ve- toplote, kar ima za posledico kraj{e odgorevanje, kraj{i taktovni ~as in {e druge prednosti. Za verigo  $\phi$  30 mm so glavne razlike med varjenjem z izmeni-nim in z istosmernim tokom navedene v **tabeli 1**.

Podobni rezultati meritev, kot so navedeni v **tabeli 1**, so bili dobljeni za dimenzije od  $\phi$  16 mm do 34 mm v

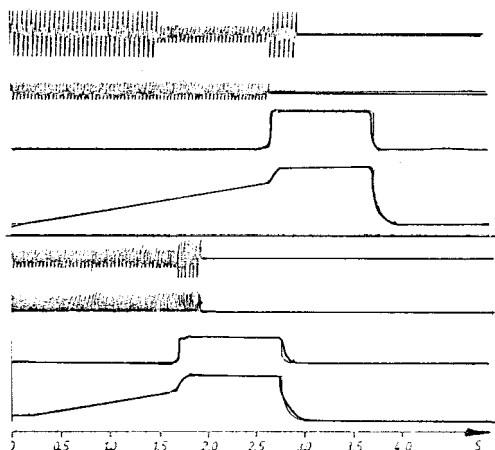
**Tabela 1:** Razlike med varjenjem verige  $\phi$  30 mm z izmenim in z enosmernim tokom

**Table 1:** Differences by welding of a  $\phi$  30 mm chain by continuous and alternative current

	Izmeni-ni tok	Enosmerni tok
dolžina izgubljenega materiala	14 mm	10 mm
od tega: odgorevanje	9,5 mm	5 mm
stiskanje	4,5 mm	5 mm
sila stiskanja	96 kN	63 kN
sila vpenjanja	160 kN	160 kN
razdalja med elektrodama	30 mm	19,5 mm
specif. sila stisk.	0,13 kN/mm <sup>2</sup>	0,083 kN/mm <sup>2</sup>
-as varjenja	10,95	s 7,90 s
el. delo/za zvar	0,21 kWh	0,18 kWh

podjetjih: Moj Rapid, Poljska; Retezarna, ^e{ka ves, ^e{ka in Becker Prunte, Zah. Nem-ija. Na osnovi rezultatov so bili izdelani diagrami, ki celotni prihranek pri uporabi enosmernega toka v primerjavi z izmenim prikazujejo bolj nazorno (**sliki 1 in 2**). Mogo-e je najbolj pomembno, da je pri enosmernem toku 14% manj{a poraba energije, izguba materiala pa za 28% manj{a kot pri dosedanjem ob'igalnem varjenju z izmenim tokom. Zmanj{ana izguba materiala pomeni zmanj{ano ob'iganje, onesna'enje stroja in okolja ter zmanj{ano izgubo -asa za -i{-enje in odstranjevanje isker. Najbolj pomembna prednost pa je zmanj{anje varilnega -asa za 34% in -asovnega ciklusa za 25%, kar pove-a produktivnost. To je pomembno, ker je ponavadi varjenje ozko grlo v proizvodnji.

Mikrostrukturne preiskave ka'ejo, da je dele' grobozrnate strukture pri enosmernem toku precej manj{i kot pri izmeni-nem. To se ka'e tudi v porazdelitvi trdote (**slika 3**), zato je zvar z enosmernim tokom veliko bolj duktilen. Njegova ve-ja {irina ka'e, da je material pri varjenju z izmenim tokom dlje -asa izpostavljen



**Slika 1:** Nekatere -asovne karakteristike varjenja veri' nih -lenov z izmenim in enosmernim tokom

**Figure 1:** Some time characteristics of welding of chain links with alternative and continuous current

visokim temperaturam, kar omogo-a ve-jo rast zrn. Zaradi vi{je temperature je podro-je ob zvaru {ir{e, zvar se pri ohlajanju delno zakali, kar ka'e tudi trdotna krivulja.

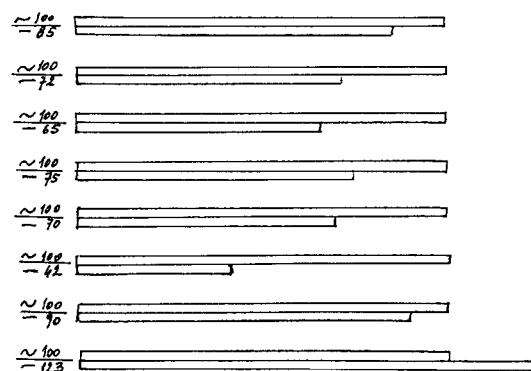
Poleg dobrih strani ima varjenje z enosmernim tokom tudi slabe, npr.:

- potrebna je ve-ja investicija zaradi usmernika
- ve-ja je poraba hladilne vode
- ve-ji je delovni prostor in
- varilni stroj mora imeti nekaj nemagnetnih delov.

Vendar pa je kljub slabim stranem novi sistem za ob'igalno varjenje bolj perspektiven. Zaradi bolj{ega pregleda navajamo glavne primerjalne karakteristike za obe vrsti topega varjenja, elektrouporovno in ob'igalno, veri' nih -lenov ve-je kakovosti.

Elektrouporovno varjenje	Elektrouporovno ob'igalno varjenje
<b>Razlike</b>	
kratki -asi varjenja	dalj{i -asi varjenja
-ist postopek	ne-ist postopek
majhna poraba materiala	ve-ja poraba materiala
<b>Zahteve glede 'ice in upognjenega -lena</b>	
'ica vle-ena, 'arjena	'ica toplo valjana
zelo -ista povr{ina	'arjena -ista povr{ina
manj{e tolerance upogibanja	nekaj ve-je tolerance upogibanja
koni-en zvarni spoj	nezahteven zvarni spoj (rezanje)
premer 'ice do cca $\phi$ 26 mm	premer 'ice od cca 13 mm navzgor
<b>Ekologija delovnega mesta</b>	
zelo -ist postopek	ne-ist postopek z nekaj plinov in malo plinov pri varjenju, ki jih lahko odvedemo
lahko odvedemo	ki so {e manj{e pri enosmernem toku

Na kratko povedano je sistem KEH -isto varjenje z zelo kratkimi varilnimi -asi, pri katerem se porabi manj materiala. Za teko- proces v proizvodnji moramo imeti nekoliko bolje pripravljeno 'ico, ki zagotavlja dobre kontaktne povr{ine in solidne tolerance pri upogibanju. Priprava 'ice pa se zahteva zato, ker se jeklo pri ohla-



**Slika 2:** Relativne prednosti varjenja veri' nih -lenov z enosmernim tokom. 100% stolpec pomeni varjenje z izmenim tokom

**Figure 2:** Relative advantages of chain links welding with continuous current. The 100% column represents the welding with alternative current

**Tabela 2:** Podatki o dolžini palice in o masi upognjenega in zvarjenega -lena  
**Table 2:** Data on the rod length and the weight of the bent and welded chain link

Veriga $\phi$ mm	Varilni stroj tip	Dolžina rezanja ravne palice mm	Masa up.-l. kg	Masa varj.-l. kg	Dovoljena razlika mas v%; predpis TV Lesce	veriga/jeklo praktične vrednosti
14x50		169	0,215	0,195	10	100/116,5
16x64		203	0,352	0,320	10	100/116,5
18x64	KEH,MRP II	210,6	0,490	0,445	10	100/116,5
18x64	KSH 22	211,6	0,495	0,445	10	100/116,5
18x64	MRP III	211,6	0,495	0,445	10	100/116,5
18x80	MRP III	244	0,528	0,480	10	100/111
20x80	KSH 22	254	0,690	0,616	12	100/111
20x80	MRP III	253	0,690	0,616	12	100/111
22x86	KSH 22	272	0,910	0,810	12	100/111
22x86	MRP III	272	0,910	0,810	12	100/111
24x86	KSH 22	281	1,204	1,075	12	100/111
24x86	MRP III	281	1,204	1,075	12	100/111
24x86	MRP III	281	1,204	1,075	12	100/111
26x86	KSH 22	302	1,520	1,350	12	100/111
26x86	MRP III	302	1,520	1,350	12	100/111

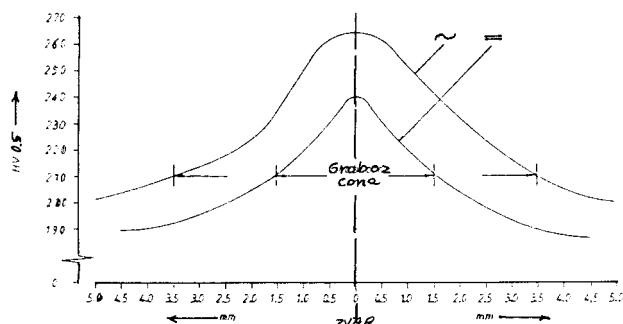
janju na valj-nih progah lahko nekoliko zakali in ga je zato treba pred upogibanjem mehko 'ariti.

Posebej je na stroju treba paziti na polo'aj elektrod in na obliko in kakovost koni-no ali kri'no zarezanega zvarnega spoja. Zaradi boljše predstave navajamo v **tabeli 2** za najbolj zanimive dimenzije  $\phi$  14 do 26 mm podatke o skupnih dolžinah odgorevanja in stiskanja, zbrane iz lastnih izkuženj in iz informacij proizvajalcev varilnih strojev. Doma-i in tuji viri ne navajajo dolžin stiskanja in odgorevanja, ampak maso -lenov v upognjenem stanju in maso zvarjenega -lena. V tabeli so podatki iz podjetij  $\hat{e}$ ka ves na  $\hat{e}$ kem, Moj Rapid iz Poljske, Brückel iz Avstrije in tudi iz podjetij Rud, Erlau, Becker Prünthe in Weissenfeld iz ZR Nem-ije ter podatki iz TV Lesce.

Odpadek v **tabeli 2** je zelo velik in ga verjetno pri-akujemo takrat, kadar z odgorevanjem popravljamo druge napake, npr.: slabo rezanje in slabo upogibanje. Zato smo dobili bolj{o dobit materiala pri praktičnem tehtanju dobro upogibanih in normalno ob'igalno varjenih -lenov  $\phi$  14 po DIN 22252 I, npr.: povpre-na masa

te'a upognjenega -lena 0,207 kg, dolžina palice 171,35 mm, povpre-na masa zvarjenih -lenov 0,197 kg, razvita dolžina varjenega -lena 163,08 mm. Izguba materiala je bila 10 g oz. 5,08%, kar je polovico vrednosti, navedenih v **tabeli 2**.  $\hat{e}$  upo{tevamo {e tolerance zaradi ovalnosti valjanih palic, ravnin rezanja in odprtih spojev, dobimo izgubo materiala povpre-no 8%, kar je obi-ajno za to vrsto zvarov. Pri razli-nih proizvajalcih verig so izgube materiala pri verigi  $\phi$  14 x 50 po DIN 22252 med 5 in 8%, redko 10%.

V **tabeli 3** navajamo osnovne podatke za -lene, izdelane na sistemih KEH. Ra-unska bruto masa -lena je za 1 - 1,9% ve-ja od neto, empiri-na bruto masa -lena pa je za 2,4 - 3,7% ve-ja od neto mase. Po standardu je potrebno za 100 kg verig vzeti 106,6 kg jekla. Ponoven praktičen preizkus za -len  $\phi$  14x50 mm, varjen na KEH 7, pa je dal naslednje vrednosti: povpre-na masa upognjenega -lena 0,200 kg, dolžina ravne palice 165,60 mm, povpre-na masa zvarjenih -lenov 0,196 kg, razvita dolžina -lena 162,25 mm in razlika mas  $\Delta g = 4$  g oz. 2,04%.



**Slika 3:** Porazdelitev trdote na -rti, pravokotni na izmeni-ni in na enosmerni zvar verige  $\phi$  22 mm iz jekla 23MnNiCrMo64

**Figure 3:** Hardness distribution on a line orthogonal to the continuous and the alternative weld of a  $\phi$  22 mm chain from steel 23MnNiCrMo64

**Tabela 3:** Podatki o izgubi materiala pri izdelavi visokoodpornih verig po DIN 5684, razred 6 na stroju vrste KEH

**Table 3:** Data on material losses by manufacturing of chains after DIN 5684 cl. 6 on a KEH machine

Nazivna dim.verige mm	Razv. dolž. L mm	Varjena masa/-l. g	Upog.empir. prakt.teht. g	Upogib.teor.iz ra-unana masa (g)	%
D 5x15	53,57	8,1	8,34	8,25	2,9
D 5x18,5	60,57	9,25	9,53	9,33	3
D 7x21	74,92	22,47	23,15	22,63	
D 9x27	96,40	47,25	48,67	68,10	
D 11x31	114,10	83,70	86,21	85,12	
D 13-36	133,57	136,8	140,90	139,18	

Iz teh preizkusov sledi, da je realna masa izgubljenega materiala med 2,4 in 3,7%. Prej omenjena izguba 5 do 8% pa upo{teva potrebo jekla za 100 kg verig, ki vsebuje tudi vse preizkuse in izmete od 'ice do

gotove verige, vključno z odgorom pri toplotni obdelavi in izgubo pri izdelavi verige. Iz vseh preizkusov in podatkov lahko sklepamo, da je izguba materiala pri običajnem varjenju mnogo večja kot pri topem varjenju po sistemu KEH. Na osnovi tabel in primerjav domanjih in tujih postopkov smo ugotovili, da je povprečno razmerje izgube materiala: običajno: KEH = 7,5 : 3,0%. Toleranco polje izgube pa je večje ali manjše in odvisno od prej navedenih dejavnikov.

Pomembna primerjava je tudi poraba električne energije na eno oz. opravljeno delo v kWh za posamezen enota. Pri običajnem varjenju je potrebna električna energija za:

- a) pripravo spoja in kratek stik
- b) predgrevanje
- c) segrevanje - hrbtnege dela in
- d) običajne dolžine dolžine palice za pripravo obeh spojnih koncev enota.

Pri topem elektrouporovnem varjenju gre energija v celoti za segrevanje zvarnega spoja. To pomeni, da lahko (težimo dolžino in stiskanja pri odgorevnem varjenju in pri topem varjenju, sistem KEH, za približno enako, vse druge razlike porabe energije pa so v (kodo običajnemu varjenju. Količina dovedene energije na enoto enota je pri sistemu KEH večja, kar pa omogoča večjo proizvodnost sistema.