

# Perspektive navarjanja v orodjarstvu

## The Future of Surfacing in Tool Making

R. Kežar<sup>1</sup>, ZRMK Ljubljana

L. Kosec, NTF Oddelek za materiale in metalurgijo, Univerza v Ljubljani

A. Lagoja, SŽ-ŽJ, ACRONI Jesenice

Prejem rokopisa - received: 1996-01-10; sprejem za objavo - accepted for publication: 1996-10-15

*Tehnologije varjenja, navarjanja in nabrizgavanja se v orodjarstvu vse prepočasno uveljavljajo. Spoznanje, da z navarjanjem lahko izdelamo na osnovi iz konstrukcijskega jekla samo delovne robove in obremenjene ploskve orodja v izbrani kvaliteti dragega orodnega jekla, pogosto spremlja nezaupanje osnovano na negativnih izkušnjah orodjarjev pri varjenju orodnih jekel, ki je resnično zelo zahtevno. Izdelava novega orodja je varivostno manj problematična, saj sami izberemo mehansko in varivostno najprimernejši osnovni material ter nanj navarjamo glede na pričakovane obremenitve izbrano sestavo orodnega jekla ali posebne zlitine. Izdelava preoblikovalnih valjčnic za krivljenje toplo valjanih trakov v profile željenih oblik z navarjanjem je zelo ekonomična. Ker je delež navara majhen (okoli 5%-en) je priporočljivo navarjati najkvalitetnejše obrabno odporne zlitine, ki kar najbolj ustrezajo obremenitvam v praksi. Z razvojem legiranih aglomeriranih praškov, ki omogočajo enoslojno navarjanje močno legiranih nanosov najrazličnejših sestav na konstrukcijska jekla, ter novih tehnik navarjanja z večžično elektrodo in v Cu-kokilo, je postalo navarjanje pod praškom zelo zanimiva, gospodarna in perspektivna tehnologija v orodjarstvu.*

*Ključne besede: orodja, navarjanje, mehanizmi obrabe, tribološko testiranje navarov, navarjanje pod legiranimi praški z večžično elektrodo, navarjanje v Cu-kokilo, mikrostruktura in obrabna odpornost navarov*

*Welding, surfacing and spraying technologies are getting valued in tool making too slowly. There is often a certain distrust accompanying the disclosure that working edges and tool surfaces subject to wear may be surfaced and quality equal to that of expensive tool steels achieved. This mistrust is based on negative experiences of tool makers gained in welding of tool steels, which is indeed a very exacting job. Making a new tool is less problematic as regards weldability since we select the most suitable parent metal as regards mechanical properties and weldability ourselves and then we surface a selected composition of tool steel or of a special alloy depending on the load expected. Production of forming roller tables for bending hot-rolled strips into profiles of required shapes by surfacing is very economic. The percentage of torque being low (around 5%), it is recommended to carry out surfacing with high-quality wear-resistant alloys, which are most appropriate for actual loads. Thanks to the development of alloyed agglomerated fluxes, which permit surfacing of high-alloyed agglomerated deposits of various compositions on structural steels, and of new surfacing processes with multiple-wire electrode and in the copper mould, submerged-arc surfacing has turned out a very interesting, economic and promising technology for tool manufacture.*

*Key words: tools, surfacing, wear mechanisms, tribologic testing of surfacings, submerged arc surfacing with multiple-wire electrode and with alloyed fluxes, Cu-mould, microstructure and wear resistance of surfacings*

### 1 Izdelava preoblikovalnih valjčnic z navarjanjem

Toplo valjane trakove preoblikujemo (krivimo) večstopenjsko med profiliranimi preoblikovalni valjčnicami v profile željenih oblik. Med preoblikovanjem se preoblikovalne valjčnice zaradi trenja, visokih pritiskov in segrevanja zelo neenakomerno obrabljajo. Na **sliki 1** so prikazana obrabno najbolj obremenjena mesta profiliranih preoblikovalnih valjčnic pri izdelavi kotnikov in "U" - profilov<sup>1</sup>.

Obrabljanje obremenjenih področij preoblikovalne valjčnice je odvisno od izbire materialov za njihovo izdelavo. Zelo primeren material za te namene so legirana jekla za cementiranje (n.pr.: EC 100 oz. Č.4321 - kvaliteta je odvisna od debeline cementiranega sloja) in orodna jekla (n.pr. Merilo, OCR 12 ..., preoblikovalne valjčnice so zelo kvalitetne vendar tudi zelo drage). Postopki navarjanja pa omogočajo, da izdelamo samo obremenjene površine preoblikovalne valjčnice v kvaliteti dragega obrabno odpornega jekla, ves preostali del valjčnice pa iz cenenejšega konstrukcijskega jekla (**slika 2**).

Izračun deleža navara na segmentu preoblikovalne valjčnice:

$$\% \text{ navara} = \frac{\pi \cdot r^2 \cdot d \cdot \rho - \pi (r-a)^2 \cdot d \cdot \rho}{\pi \cdot r^2 \cdot d \cdot \rho} \cdot 100 = \frac{r^2 - (r-a)^2}{r^2} \cdot 100$$

- I.  $2r = 170 \text{ mm}$ ;  $d = 40 \text{ mm}$ ;  $a = 3 \text{ do } 5 \text{ mm}$   
 $a_1 = 3 \text{ mm}$ ; % navara = 6,9  
 $a_2 = 5 \text{ mm}$ ; % navara = 11,4
- II.  $2r = 400 \text{ mm}$ ;  $d = 40 \text{ mm}$ ;  $a = 3 \text{ do } 5 \text{ mm}$   
 $a_1 = 3 \text{ mm}$ ; % navara = 3,0  
 $a_2 = 5 \text{ mm}$ ; % navara = 4,9

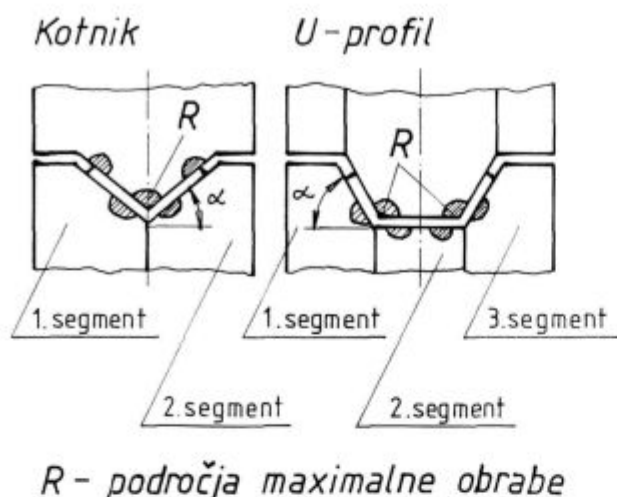
Delež navara na celotno preoblikovalno valjčnico je zelo nizek - v povprečju okoli 5%. To zagotavlja gospodarnost pri ravnanju z dragimi kovinami, ki so sestavina obrabno odpornih jekel ali izbranih zlitin. Zaradi majhnega deleža navara je ekonomično in priporočljivo navarjati najkvalitetnejše obrabno odporne zlitine, ki najbolj ustrezajo obremenitvam v praksi<sup>2-9</sup>.

### 2 Izbira postopka in dodatnega materiala

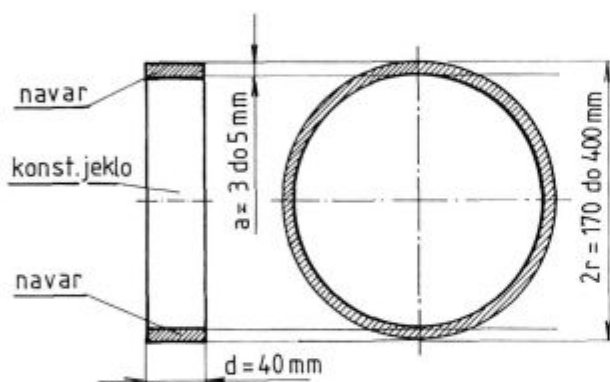
#### 2.1 Postopki navarjanja

Pri navarjanju na konstrukcijsko jeklo je zelo pomembno, da je razredčenje navara zaradi taljenja os-

<sup>1</sup> Prof.dr. Rajko KEŽAR  
Zavod za raziskavo materiala in konstrukcij  
1000 Ljubljana, Dimičeva 12



**Slika 1:** Področja maksimalne obrabe preoblikovalnih valjčnic pri izdelavi kotnikov in "U" - profilov iz traku<sup>1</sup>  
**Figure 1:** Zones of maximum wear of forming roller tables in making angles and U-profiles from strip<sup>1</sup>



**Slika 2:** Izgled navarjenega segmenta preoblikovalne valjčnice  
**Figure 2:** Appearance of a surfaced segment of a roller table

novnega materiala čim manjše. Zaradi mešanja navara z osnovo moramo zelo pogosto navarjati večslojno<sup>10-16</sup>.

Majhen uvar je značilen za postopke z majhnim vnosom toplote (plamensko, TIG in ročno obločno navarjanje). Hiba omenjenih postopkov je nizka produktivnost. Pri bolj produktivnih postopkih (MIG/MAG in EPP) pa je zaradi večjega vnosa toplote tudi taljenje osnovnega materiala znatno intenzivnejše. Pri navarjanju pod praški (EPP) lahko uvarjanje v osnovo zelo učinkovito zmanjšamo z dodajanjem kovin in kovinskih zlitin preko praška v oblok in varilno kopol<sup>17-22</sup>.

## 2.2 Legirani aglomerirani praški

Navarjanje pod legiranimi aglomeriranimi praški omogoča, da tudi konstrukcijska nelegirana in malolegirana jekla lahko enoslojno visoko produktivno platiramo z močno legiranimi nanosi. Razredčenje navara, ki ga povzroči taljenje osnovnega materiala ter odgorevanje le-

girnih elementov, nadomestimo z dodatnim legiranjem navara preko legiranega aglomeriranega praška.

Za platiranje segmentov preoblikovalnih valjčnic smo razvili legirane aglomerirane praške za navarjanje izbranih sestav obrabno odpornih nanosov. Orientacijska sestava legirnih dodatkov v prašku je podana v **tabeli 1**, kemijske sestave enoslojnih navarov z eno elektrodo "EPP 2",  $\phi$  3 mm ( $I = 450$  A,  $U = 40$  V) pa v **tabeli 2**.

**Tabela 1:** Orientacijska sestava legirnih dodatkov v izbranih legiranih aglomeriranih praških

Varilni prašek	Legirni dodatki v prašku	$\Sigma$ v %
0-7 SM	FeMn, FeCr in FeMo	18
OS-E 1	FeSi, FeCr in FeMo	13
U-Mo 1	FeSi, FeCr, FeMo in FeV	36
U-Mo 6	FeSi, FeCr, FeMo, FeW, FeV in karburit	41

**Tabela 2:** Kemijske sestave enoslojnih navarov z eno elektrodo "EPP 2",  $\phi$  3 mm pod izbranimi legiranimi praški ( $I = 450$  A,  $U = 40$  V)

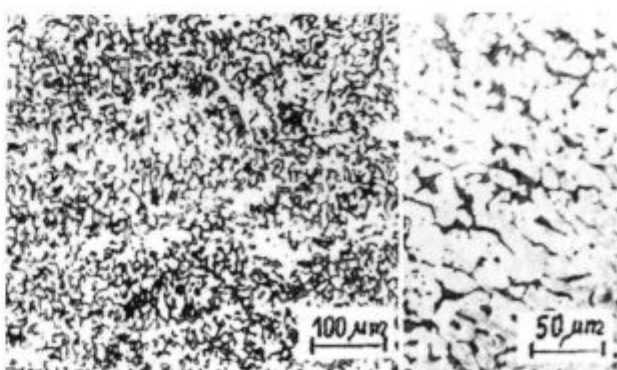
Varilni prašek	Uvar (%)	C (%)	Si (%)	Mn (%)	Cr (%)	Mo (%)	W (%)	V (%)
0-7 SM	55	0,4	0,4	0,8	5,0	0,4	-	-
OS-E 1	55	0,2	0,6	0,5	1,4	-	1,9	-
U-Mo 1	50	0,4	0,7	0,4	7,0	1,7	-	0,6
U-Mo 6	46	0,8	1,0	0,4	7,5	1,8	0,5	0,9

Obrabna odpornost navarov, ki smo jo določali na tribometru "Amsler" (8 in 9) je v tesni zvezi s trdoto (**tabela 3**) in strukturo (**slike 3, 4 in 5**) navarov.

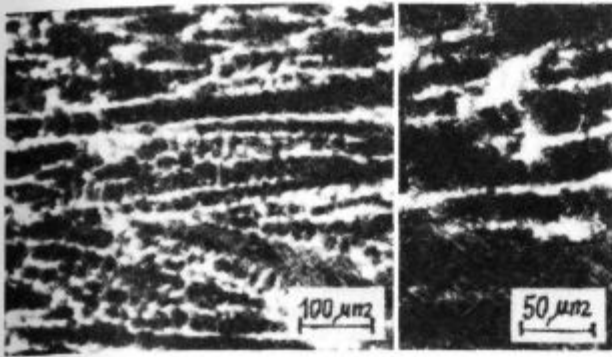
**Tabela 3:** Rezultati trdot ter meritev obrabe enoslojnih navarov z eno elektrodo EPP 2,  $\phi$  3 mm pod izbranimi legiranimi aglomeriranimi praški

Varilni prašek	Obraba (Brus-H10; $P_N=200$ N/cm, $v=1$ m/s, $t=1$ min) (mg)	povpr.	$\epsilon$ (%)
0-7 SM	111,3; 189,9	150,6	26
OS-E 1	606,1; 360,7	483,4	84
U-Mo 1	350,0; 265,2	307,6	54
U-Mo 6	393,2; 218,0	305,6	53

Obraba primerjalnega vzorca (konstrukcijsko jeklo): 513,6; 632,8 ... povpr. 573,2 mg.



**Slika 3:** Mikrostruktura navara z eno elektrodo "EPP 2" pod praškom "OS-E1" - feritna z maloogljčnim martenzitom  
**Figure 3:** Microstructure of a surfacing made by submerged arc surfacing with single electrode "EPP 2" and flux "OS-E 1" - ferrite with low-carbon martensite



**Slika 4:** Mikrostruktura navara z enojno elektrodo "EPP 2" pod praškom "U-Mo 1" - martenzita z zaostalim avstenitom  
**Figure 4:** Microstructure of a surfacing made by submerged arc surfacing with single electrode "EPP 2" and flux "U-Mo 1" - martensite with residual austenite



**Slika 5:** Mikrostruktura navara z enojno elektrodo "EPP 2" pod praškom "U-Mo 6" - feritna z maloogljčnim martenzitom  
**Figure 5:** Microstructure of a surfacing made by submerged arc surfacing with single electrode "EPP 2" and flux "U-Mo 6" - ferrite with low-carbon martensite

Iz kemičnih analiz (tabela 2) in struktur navarov (slike 3, 4 in 5) je razvidno, da moramo predvsem pri močnejše legiranih navarih zvišati vsebnost ogljika, če želimo dobiti bolj trde in obrabno odpornejše nanose.

Najbolj zanimiva praška za navarjanje segmentov valjčnic sta "0-7 SM" in "U-Mo 6", ki pa mu moramo zvišati vsebnost karburita (povečati legiranje navara z ogljikom). Z izbranimi praškoma smo navarjali še po postopku z večkratno elektrodo (tabela 4), ki je posebno primeren kadar želimo znižati taljenje osnovnega materiala - zmanjšati delež uvara<sup>14-16,23</sup>.

**Tabela 4:** Kemijski sestavi enoslojnih navarov s trojno elektrodo "VAC 60",  $\phi$  1,6 mm pod legiranimi praškoma "0-7 SM" in "U-Mo 6" (I = 185 A/žico, U = 44 V)

Varilni prašek	Uvar (%)	C (%)	Si (%)	Mn (%)	Cr (%)	Mo (%)	W (%)	V (%)
0-7 SM	15	0,5	0,6	1,1	7,0	0,6	-	-
U-Mo 6	10	1,5	1,5	0,5	14,3	3,4	0,7	1,7

Iz meritev obrabne odpornosti navarov (tabela 5) in iz mikrostruktur (slike 6 in 7) vidimo, da je količina karbidotvornih elementov v navarih s trojno elektrodo (tabela 4), glede na vsebnost ogljika, previsoka. V navaru

pod praškom "U-Mo 6" je ves ogljik v karbidnem evtektiku med dendridi ferita in zaostalega avstenita, ki ne nudijo trdemu evtektiku zadostne opore za dobro abrazijsko odpornost.

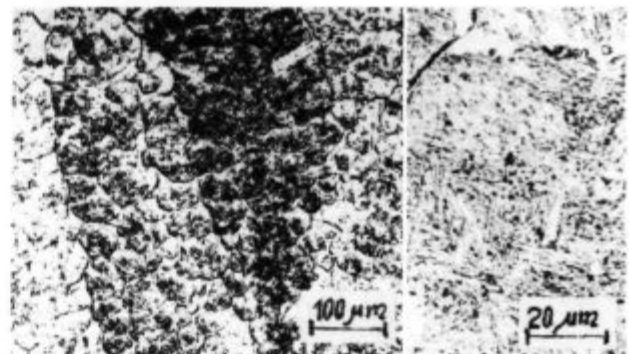
**Tabela 5:** Rezultati trdot in meritev obrabe enoslojnih navarov s trojno elektrodo "VAC 60",  $\phi$  1,6 mm pod legiranimi praškoma "0-7 SM" in "U-Mo 6"

Varilni prašek	Trdota (HRc)	Obraba (Brus-H10; P <sub>N</sub> =200 N/cm, v=1 m/s, t=1 min)		
		(mg)	povpr.	ε (%)
0-7 SM	57	142,6;259,9;137,1	179,7	31
U-Mo 6	53	218,0;126,1;154,3	166,1	29

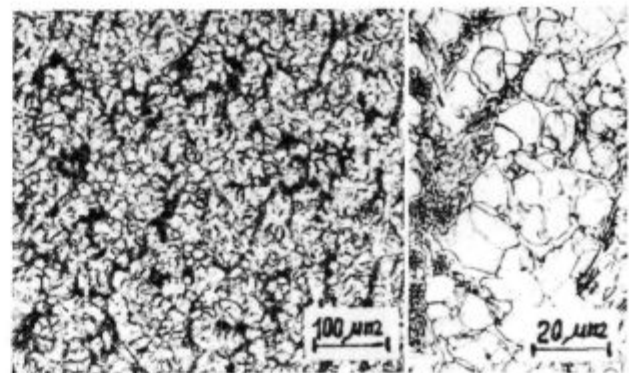
Obraba primerjalnega vzorca (konstrukcijsko jeklo): 513,6; 632,8 ... povpr. 573,2 mg.

### 2.3 Navarjanje preoblikovalnih valjčnic

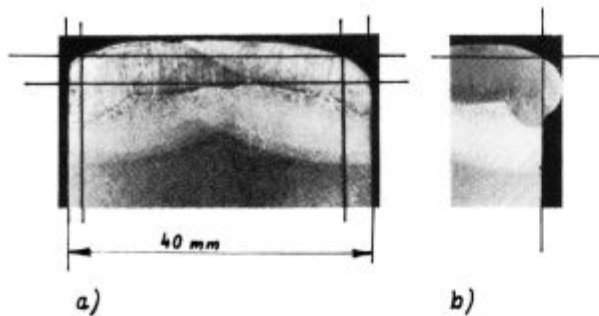
Pri produktivnih postopkih navarjanja (EPP) nastopijo poleg razredčenja navara zaradi taljenja osnove še težave zaradi velike varilne kopeli, ki so še posebej neugodne, če navarjamo na rob. Tem težavam, ki so prisotne tudi pri navarjanju segmentov preoblikovalnih valjčnic, se lahko zelo elegantno izognemo, če s Cu-kokilo ome-



**Slika 6:** Mikrostruktura navara s trojno elektrodo "VAC 60" pod praškom "0-7 SM" - martenzita  
**Figure 6:** Microstructure of a surfacing made by submerged arc surfacing with triple electrode "VAC 60" and flux "0-7 SM" - martensite



**Slika 7:** Mikrostruktura navara s trojno elektrodo "VAC 60" pod praškom "U-Mo 6" - karbidni evtektik med dendridi ferita in zaostalega avstenita  
**Figure 7:** Microstructure of a surfacing made by submerged arc surfacing with triple electrode "VAC 60" and flux "U-Mo 6" - carbide eutectic in the middle of ferrite and residual-austenite dendrites



Slika 8: Navarjen rob segmenta preoblikovalne valjčnice z uporabo a) ravne Cu-kokile, b) oblikovane Cu-kokile

Figure 8: Surfaced edge of a segment of a forming roller table made by using a) a straight Cu mould, b) a shaped Cu mould

jimo navar na robu segmenta ter tako preprečimo iztekanje taline iz kopeli navara (slika 8).

Navarjanje segmentov preoblikovalnih valjčnic z uporabo oblikovane Cu-kokile je zelo perspektivno. Navari so lepo oblikovani. Stroški za mehansko obdelavo so zato manjši. Ker je izkoristek navara zelo visok, je navarjanje po opisanem postopku zelo ekonomično tudi zaradi manjše porabe dragih dodatnih materialov.

### 3 Zaključek

Navarjanje je zelo perspektiven postopek obnavljanja in izdelave novih orodij. Pri vseh navarjanjih s taljenjem pa moramo mikrostrukturnim spremembam v toplotno vplivanem področju posvetiti posebno pozornost, še posebno kadar navarjamo na kakovostnejša jekla ali zlitine in kadar obnavljamo orodja.

Z razvojem legiranih aglomeriranih praškov, ki omogočajo enoslojno navarjanje močno legiranih nanosov najrazličnejših sestav na konstrukcijska jekla, je postalo navarjanje pod praškom zelo zanimiva in perspektivna tehnologija za orodjarstvo.

Navarjanje z večžično elektrodo pod legiranimi aglomeriranimi praški z uporabo oblikovane Cu-kokile je zelo obetaven in gospodaren postopek platiranja obrabno obremenjenih površin preoblikovalnih valjčnic.

### 4 Literatura

<sup>1</sup> Bogojawlinskij, Meubauer, Ris: *Technologie der Fertigung von Leichtbauprofilen*, Deutsche Verlag Grundstoffindustrie, Leipzig 1979

- <sup>2</sup> R. Kežar: Hardfacing by submerged arc welding. *Proceedings of the 2nd international conference on tooling "Neue Werkstoffe und Verfahren für Werkzeuge"*, Bochum 1989, 301/314
- <sup>3</sup> R. Kežar: Refinement of working surfaces by submerged arc hardfacing. *Proceedings of the international conference on the joining of materials, JOM-5*, Helsingor 1991, 117/126
- <sup>4</sup> R. Kežar: Izdelava orodij z navarjanjem. *Zbornik 40. posveta o metalurgiji in kovinskih gradivih*, Portorož/Ljubljana 1989, 201/224
- <sup>5</sup> R. Kežar: Izdelava in vzdrževanje orodij z navarjanjem. *Varilna tehnika*, 32, 1983, 4, 81/83
- <sup>6</sup> R. Kežar: Izdelava in obnavljanje orodij z navarjanjem. *Zbornik seminarja "Materiali in sodobna izdelava"*, Ljubljana 1991, 117/136
- <sup>7</sup> H. Uetz: *Abrasion und Erosion*. Carl Hanser Verlag, München, Wien 1986
- <sup>8</sup> R. Kežar: Wear-resistance of built-up claddings. *Proceedings of the international conference on the joining of materials, JOM-7*, Helsingor 1995, 261/272
- <sup>9</sup> R. Kežar, V. Živkovič: Kvaliteta abrazijsko odpornih navarov. *Kovine-zlitine-tehnologije*, 29, 1995, 1-2, 120/122
- <sup>10</sup> R. Kežar: Navarjanje močno legiranih nanosov na konstrukcijska jekla. *Varilna tehnika*, 41, 1992, 4, 96/101
- <sup>11</sup> Weld Surfacing and Hardfacing. *The Welding Institute*, Abington Hall Abington Cambridge CB1 GAL, 1980
- <sup>12</sup> R. Kežar: Produktivno navarjanje orodij. *Strojniški vestnik - Tribologija*, 36, 1990, 10-12, 217/220
- <sup>13</sup> R. Kežar: Platiranje konstrukcijskih jekel z navarjanjem. *Kovine-zlitine-tehnologije*, 28, 1994, 1-2, 95/100
- <sup>14</sup> R. Kežar: Razširjene perspektive navarjanja močno legiranih nanosov. *Kovine-zlitine-tehnologije*, 29, 1995, 1-2, 113/116
- <sup>15</sup> R. Kežar: One-layer submerged arc surfacing of high-alloyed claddings with single and multiple electrodes and with alloyed agglomerated powders. *Proceedings of the international conference on the joining of materials, JOM-6*, Helsingor 1993, 455/463
- <sup>16</sup> R. Kežar: Submerged arc surfacing with multiple-wire electrode and alloyed agglomerated fluxes. *Proceedings of the international conference on the joining of materials, JOM-7*, Helsingor 1995, 273/279
- <sup>17</sup> R. Kežar: Perspektive aglomeriranih varilnih praškov. *Zbornik 38. posveta o metalurgiji in kovinskih gradivih*, Portorož/Ljubljana 1987, 87/98
- <sup>18</sup> R. Kežar: Legirani praški za posebna navarjanja. *Rudarsko metalurški zbornik*, 38, 1991, 2, 275/290
- <sup>19</sup> R. Kežar: Sintetični minerali - izdelane surovine aglomeriranih varilnih praškov. *Zbornik 41. posveta o metalurgiji in kovinskih gradivih*, Portorož/Ljubljana 1990, 201/224
- <sup>20</sup> R. Kežar: Prednosti uporabe novih sintetičnih repromaterialov. *Kovine-zlitine-tehnologije*, 27, 1993, 1-2, 258/259
- <sup>21</sup> R. Kežar: Alloying processes in submerged arc surfacing with alloyed agglomerated fluxes. *IIV/ISS Glasgow 1993*, Doc. 212-844-93
- <sup>22</sup> R. Kežar, B. Kežar: Dodatni materiali na osnovi izbranih sintetičnih repromaterialov z dodatkom kalijevih oksidov. *Kovine-zlitine-tehnologije*, 28, 1994, 3, 516/519
- <sup>23</sup> R. Kežar: Some results referring to alloying of submerged arc surfacings in multiple electrode welding. *IIV/ISS Madrid 1992*, Doc. 212-813-92
- <sup>24</sup> R. Kežar, M. Hrženjak: Izdelava orodij z navarjanjem v kokilo. *Kovine-zlitine-tehnologije*, 26, 1992, 1-2, 257/258