

Izdelava rezilnih robov orodij z navarjanjem

Production of Cutting Edges by Surfacing

R. Kejžar¹, ZRMK Ljubljana

L. Kosec, NTF - Oddelek za materiale in metalurgijo, Ljubljana

Prejem rokopisa - received: 1995-10-04; sprejem za objavo - accepted for publication: 1995-12-22

Prihodnost izdelave orodij je v oplemenitvenju delovnih površin in robov. Postopki navarjanja omogočajo izdelavo obremenjenih delov orodja (n.pr.: rezilnih robov) iz posebnih jekel in zlitin izbrane sestave glede na mehanske in toplotne obremenitve med obratovanjem. Rezilne robove je priporočljivo navarjati po postopkih z majhnim vnosom energije (n.pr.: TIG in ročno obločno). Pri produktivnejših postopkih nastopijo poleg razredčenja navara zaradi intenzivnega taljenja osnove še težave zaradi velike taline navara. Problem rešimo tako, da iztekanje taline omejimo s Cu-kokilo. Pri uporabi Cu-kokile pri navarjanju rezilnih robov dobimo lepo oblikovane navare. Stroški za mehansko obdelavo nožev po navarjanju so zato manjši. Navarjanje rezilnih robov z uporabo Cu-kokile je ekonomičnejše tudi zaradi manjše porabe dragih dodatnih materialov.

Ključne besede: orodna jekla, rezilna orodja, navarjanje robov s Cu-kokilo, ročno obločno, TIG, MIG/MAG in EPP-navarjanje; oplaščene elektrode, legirani aglomerirani praški in strženske žice

Tool manufacture has a future in refining of working surfaces and edges. Surfacing processes permit manufacture of tool parts subject to strain, e.g. cutting edges, from special steels and alloys having a composition selected with regard to mechanical and thermal strains during service. It is recommended to surface cutting edges by processes with low heat input, e.g. TIG welding, manual arc welding. In more productive surfacing processes, namely, not only the surfacing gets diluted due to a large molten pool of the parent metal, but we also come up a difficulty due to a large molten pool. The problem can be solved by restricting the outflow of the molten pool by a copper mould. When using a copper mould in surfacing of cutting edges, nicely shaped surfacings are obtained. Cost of mechanical treatment of knives after surfacing is consequently lower. Surfacing of cutting edges with copper mould is more economic also due to lower consumption of expensive filler materials.

Key words: tool steels, cutting tools; surfacing of edges with copper mould; manual arc surfacing, TIG surfacing, MIG/MAG surfacing, submerged arc surfacing; covered electrodes, alloyed agglomerated fluxes and flux-cored wires

1 Splošno o varjenju in navarjanju orodnih jekel

Orodna jekla so pogojno variva. Zaradi višje vsebnosti ogljika in legiranih elementov (Cr, Mo, V, W...) so zelo občutljiva za temperaturne spremembe, ki jih povzročimo z varjenjem in navarjanjem. Pri tem je posebno pomembna hitrost ohlajanja, ki je največja neposredno pod varom oz. navarom. Pri prehitrem ohlajanju lahko pride do nastanka neželenih kalilnih mikrostruktur, visokih notranjih napetosti in razpok. S predgrevanjem orodja, pravilno izbiro postopka in nadzorovanim ohlajanjem po navarjanju lahko preprečimo nastanek škodljivih mikrostrukturnih sprememb v navaru in njegovi okolici - toplotno vplivanem področju¹⁻⁴.

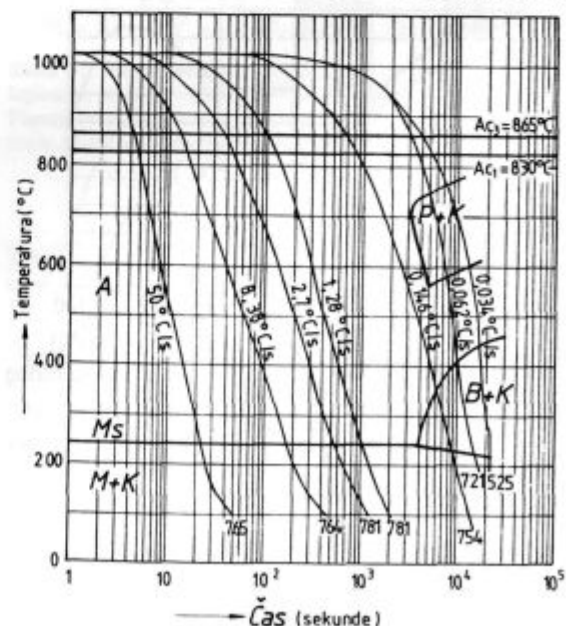
Določanje tehnologije obnavljanja izrabljenih in poškodovanih orodij z varjenjem in navarjanjem je pogosto zelo zahtevno. Le redko si lahko pomagamo z ekvivalentom ogljika⁵. Resnično vredne podatke za predvidevanje strukturnih sprememb zaradi vnosa toplote med varjenjem pa dobimo iz diagramov CCT (continuous cooling transformation)⁶⁻⁸.

Iz diagramov CCT je lepo viden vpliv hitrosti ohlajanja na mikrostrukturo in trdoto izbranega orodnega jekla. Pri prevelikih hitrostih ohlajanja nastajajo v navaru (če navarjamo z dodatnim materialom enake sestave, kot jo ima osnovno orodno jeklo) in njegovi okolici (TVP - toplotno vplivanem področju) kalilne mikrostrukture, kar povzroča nastanek notranjih napetosti ter tudi mikro

razpok, razpok v navaru in pod njim. Če temu dodamo še napetosti zaradi krčenja navara pri ohlajanju, pride pri nepravilno izbranem postopku in tehnologiji navarjanja zelo pogosto do odluščenja navarjenih plasti.

Orodja lahko obnavljamo na dva zelo različna načina:

Orodno jeklo za delo v vročem - UTOP Mo6	Kemijska sestava (%)										
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	V	W	Cu	Mo
Č. 4758	0,70	0,80	0,58	0,025	0,005	5,26	0,13	0,69	1,10	0,17	1,38



Slika 1: Diagram CCT za orodno jeklo Č.4758; Utop Mo6⁸
Figure 1: CCT diagram of tool steel Č.4758; Utop Mo6⁸

¹ Prof.dr. Rajko KEJŽAR, dipl.inž.kem.
Zavod za raziskavo materiala in konstrukcij
1000 Ljubljana, Dimičeva 12

- a) brez posebne toplotne obdelave pred navarjanjem in po njem
- b) s sferoidizacijskim žarjenjem pred navarjanjem in po njem ter kaljenjem in popuščanjem do željenih mehanskih lastnosti navarjenih delovnih površin in robov.

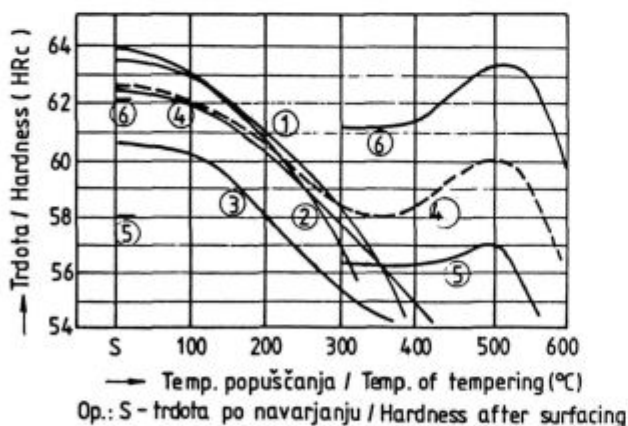
Obnavljanje orodij brez toplotne obdelave pred navarjanjem in po njem je zelo problematično. Primerno je le za manj zapletena orodja. Navarjati pa moramo preko celotnega delovnega robu, ker okolico navara z navarjanjem izžarimo, da postane mehkejša od navara.

Firma Böhler priporoča v navodilih za navarjanje orodij naslednje predgrevanje glede na vrsto in sestavo orodnega jekla⁹:

1 orodna jekla, kaljiva v vodi	100-250°C
2 orodna jekla, kaljiva v olju	100-300°C
3 orodna jekla, kaljiva na zraku (5% Cr)	150-250°C
4 (12% Cr)	400-500°C
5 orodna jekla za delo v vročem	200-400°C
6 hitrozna jekla	400-500°C

Pri navarjanju s predgrevanjem po priporočilih firme Böhler dobimo trde zakaljene navare, ki jih lahko obdelujemo samo z brušenjem. Po navarjanju lahko navare, če je potrebno, še popuščamo na željeno trdoto (slika 2).

Pri zahtevnejših popravilih orodja pred navarjanjem sferoidizacijsko žarimo, da odpravimo neprimerno mikrostrukturo in notranje napetosti, navarjamo pa tako, da s predgrevanjem toliko upočasnimo hitrosti ohlajanja navara in TVP, da onemogočimo nastajanje neželenih kalilnih mikrostruktur. Tako obnovljena orodja moramo po navarjanju še toplotno obdelati - kaliti in popuščati do zahtevanih mehanskih lastnosti.



Slika 2: Trdote po navarjanju in popuščanju pri izbrani temperaturi^{8,9}
 Figure 2: Hardness values after surfacing and tempering at the temperature selected^{8,9}

2 Navarjanje rezilnih robov

Prihodnost izdelave orodij je v oplemenitenu obrabno obremenjenih površin in robov. Navadno je znatno gospodarnejše, da s postopki navarjanja izdelamo obrabno odporne le delovne površine in robove, ves preostali del orodja pa je iz ustreznega konstrukcijskega ali cenenejšega orodnega jekla. Tako izdelano orodje je večinoma kvalitetnejše od tistega, ki je v celoti izdelano iz orodnega jekla, saj ima trde in obrabno odporne delovne površine in robove na žilavi osnovi - nosilnem konstrukcijskem jeklu.

Navarjanje na konstrukcijsko jeklo, to je platiranje z navarjanjem pri izdelavi orodij, je z vidika tehnologije navarjanja znatno manj zahtevno kakor obnavljanje orodij z navarjanjem. Pri izdelavi orodij bomo, če bo le mogoče, izbrali kot nosilni material dobro varivo konstrukcijsko jeklo.

Pri navarjanju močno legiranih nanosov na konstrukcijsko jeklo je izredno pomembna izbira dodatnega materiala in postopka navarjanja (Tabela 1).

Tabela 1: Produktivnost in uvarjanje v osnovo pri izbranih postopkih navarjanja

Postopek navarjanja	TIG	RO	MIG	EPP
Produktivnost (kg/h)	0,3-1,0	0,5-2,5	1,5-6,0	3,0-20,0
% uvara	10-30	20-40	30-50	20-80

Pri navarjanju na konstrukcijsko jeklo ne želimo taliti osnovnega materiala, temveč je glavni cilj, da na delovno površino ali rezilni rob orodja nanese obrabno odporno prevleko, ki pa mora biti kvalitetno spojena z osnovo¹⁰⁻¹⁶.

2.1 Navarjanje po postopku TIG

Rezilne robove je priporočljivo navarjati po postopkih z majhnim vnosom energije. Poleg majhnega uvara so prednosti navarjanja po postopku TIG tudi majhna varilna kopel, zato navarjanje robov ni problematično. Kot dodatni material za navarjanje uporabljamo legirane žice (tabela 2).

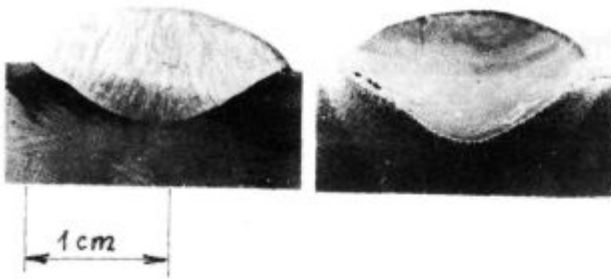
$$\epsilon^* \text{ (koeficient relativne obrabe) } = \frac{\text{Obraba navara (mg)} \cdot 100}{\text{Obraba primerjalnega vzorca (mg)}}$$

Obraba primerjalnega vzorca (konstrukcijsko jeklo): 1,7; 1,4... - povp. 1,55 mg.

Preseneča nas slaba obrabna odpornost navarov z žico BRM 2.

Tabela 2: Kemična sestava in obrabna odpornost navarov po postopku TIG

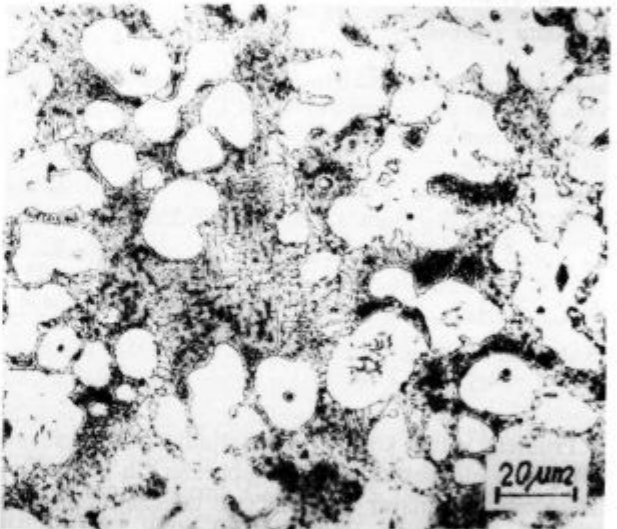
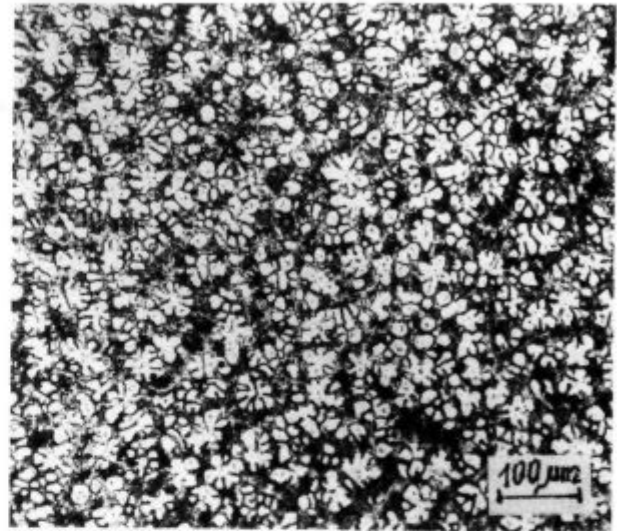
Navar (20%-ni uvar)	Kem.sestava enoslojnega navara					Obraba; Pip-disc (P _N =1N; v=0,5 m/s; s=100 m)		
	%C	%Cr	%Mo	%W	%V	(mg)	povp.	ε* (%)
žica: OCR4 ex.	0,84	1,2	-	-	-	0,9; 1,2	1,05	68
žica: BRM 2	0,76	3,2	4,0	5,2	1,5	1,3; 1,2	1,25	81



Slika 3: Videz preseka navara z enojno elektrodo (ϕ 3 mm) pod legiranim praškom: a) "U-Mo 6" in b) "BM-2" ($I = 450$ A, $U = 40$ V)
Figure 3: Macrography of the cross-section of the submerged arc surfacing made with single electrode ($\phi_{\text{wire}} = 3$ mm) and with alloyed fluxes: a) "U-Mo-6" and b) "BM-2" ($I = 450$ A, $U = 40$ V)



Slika 4: Videz preseka navara s trojno elektrodo (ϕ 1,6 mm) pod legiranim praškom: a) "U-Mo-6" in b) "BM-2" ($I = 185$ A/žico, $U = 44$ V)
Figure 4: Macrography of the cross-section of the submerged arc surfacing made with triple electrode ($\phi_{\text{wire}} = 1.6$ mm) and with alloyed fluxes: a) "U-Mo-6" and b) "BM-2" ($I = 185$ A/wire, $U = 44$ V)



Slika 5: Mikrostruktura navara s trojno elektrodo "VAC 60" pod legiranim praškom "BM-2"

Figure 5: Microstructure of the submerged arc surfacing made with triple electrode "VAC 60" and with alloyed flux "BM-2"

Tabela 4: Kemijski sestavi enoslojnih navarov s trojno elektrodo pod močno legiranim praškom "U-Mo 6" in "BM-2" (žica: VAC 60, ϕ 1,6 mm; $I = 185$ A/žico, $U = 44$ V)

Varilni prašek	uvar (%)	C (%)	Si (%)	Mn (%)	Cr (%)	Mo (%)	W (%)	V (%)
U-Mo 6	10	1,5	1,5	0,5	14,3	3,4	0,7	1,7
BM-2	15	1,3	1,1	0,5	8,3	7,2	9,9	2,8

Zaradi velike količine karbidotvornih elementov (Cr, W in V) v navarih s trojno elektrodo - še posebno pri navarjanju pod praškom "BM-2" (glej **tabelo 4**) - dobimo z vidika abrazijske odpornosti zelo neugodno mikrostrukturo iz karbidnega eitektika (zmes karbidov, martenzita in zaostalega avstenita) ter ferita (**slika 5**).

2.2 Navarjanje pod legiranimi aglomeriranimi praški

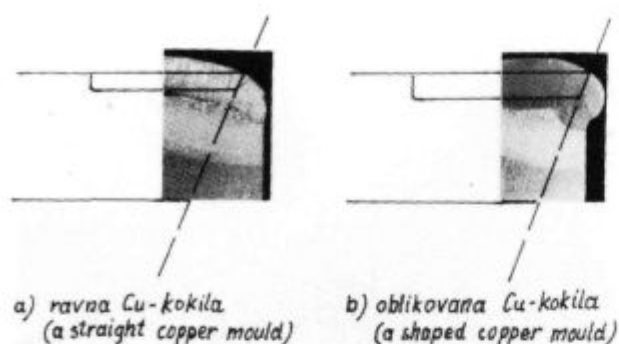
Pri produktivnejših postopkih nastopijo poleg razredčenja navara zaradi intenzivnega taljenja osnove, kar zelo uspešno rešujemo z dodatki kovin v elektrodo, visokoproduktivnimi in močno legiranimi aglomeriranimi praški ter strženskimi žicami, še težave zaradi velike taline navara¹⁷⁻²⁴.

Navarjanje z večžično elektrodo pod legiranimi aglomeriranimi praški omogoča enoslojno nanašanje močno legiranih zlitin izbrane sestave na nelegirana in malolegirana konstrukcijska ter cenena orodna jekla. Za razvoj tehnike in tehnologije visokoproduktivnega navarjanja rezilnih robov smo izbrali legirana aglomerirana praška "U-Mo 6" in "BM-2", ki smo ju razvili za enoslojno navarjanje na konstrukcijsko jeklo z enojno elektrodo "EPP 2" (**tabela 3 in slika 3**).

Tabela 3: Kemijski sestavi enoslojnih navarov z enojno elektrodo pod močno legiranim praškom "U-Mo 6" in "BM-2" (žica: EPP 2, ϕ 3 mm; $I = 450$ A, $U = 40$ V)

Varilni prašek	uvar (%)	C (%)	Si (%)	Mn (%)	Cr (%)	Mo (%)	W (%)	V (%)
U-Mo 6	46	0,8	1,0	0,4	7,5	1,8	0,5	0,9
BM-2	42	1,0	0,4	0,4	5,5	5,0	6,5	2,0

Rezultati navarjanja s trojno elektrodo "VAC 60" pod legiranim praškom "U-Mo 6" in "BM-2" so podani v **tabeli 4**, videz navarov na plošči pa prikazuje **slika 4**.



Slika 6: Navarjen rezilni rob z uporabo Cu-kokile
Figure 6: Surfaced cutting edge made with a copper mould

Vsebnost ogljika je glede na količino karbidotvornih elementov prenizka, da bi dobili mikrostrukturo s karbidi v martenzitni osnovi, kar bi zagotovilo dobro abrazijsko odpornost navarov. Rezultati meritev obrabne odpornosti navarov, ki smo jo ugotovili na tribometru "Amsler"^{25,26}, so podani v **tabeli 5**.

Tabela 5: Rezultati meritev trdote in obrabe enoslojnih navarov s trojno elektrodo pod legiranimi praški ("U-Mo 6" in "BM-2") in njihovi koeficienti relativne obrabe "ε"

Varilni prašek	Trdote (HRC)		Obraba (Brus - H10; P _N =200N/cm, v=1 m/s; t=1min)		
	Teme	Sredina	(mg)	povp.	ε (%)
U-Mo 6	53	53	218,0; 126,1; 154,3	166,1	29
BM-2	41	33	637,4; 638,0; 579,4	618,3	108

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

Problem velike kopeli pri navarjanju rezilnega robu lahko zelo elegantno rešimo z uporabo Cu-kokile²⁷, s katero omejimo navar - preprečimo iztekanje taline ter oblikujemo navarjen rezilni rob (slika 6).

3 Sklep

Izdelava rezilnih robov orodij z navarjanjem pod legiranimi praški z večžično elektrodo je zelo produktivna. Postopek je perspektiven za orodjarstvo, predvsem pri izdelavi dolgih in ravnih rezilnih robov. Izpopolniti pa moramo še legiranje navara - zmanjšati količino karbidotvornih elementov in povečati vsebnost ogljika, da bomo dobili visoko abrazijsko odporne navare s karbidi v martenzitni osnovi.

Pri navarjanju rezilnih robov z uporabo Cu-kokile dobimo lepo oblikovane navare. Stroški za mehansko obdelavo nožev po navarjanju so zato manjši. Navarjanje rezilnih robov z uporabo oblikovane Cu-kokile je še posebno ekonomično tudi zaradi manjše porabe dragih

dodajnih materialov - za izdelavo rezilnega robu je potrebno odbrusiti manj navara (slika 6).

4 Literatura

- R. Kejžar: Izdelava in obnavljanje orodij z navarjanjem. *Zbornik seminarja "Materiali in sodobna izdelava"*, Ljubljana 1991, 117-136
- R. Kejžar: Applicability of building-up processes to manufacture and restoration of tools. *Proceedings of the international conference on the joining of materials, JOM-4*, Helsingor 1989, 26-36
- R. Kejžar: Razvoj varilnih postopkov obnavljanja in oplemenitenja površin. *Strojniški vestnik - Tribologija*, 31, 1985, 7-8, 179-183
- R. Kejžar: Popravilo in izdelava orodij z navarjanjem. *Zbornik s XXXIII. posvetovanja metalurgov v Portorožu*, Ljubljana 1984, 93-95
- D. Seferijan: *Metalurgija zavarivanja*. Gradjevinska knjiga, Beograd 1969
- F. Wever, A. Rose, W. Peter, W. Strassburg, L. Rademacher: *Atlas zur Wärmebehandlung der Stähle*. Verlag Stahleisen m.b.H., Düsseldorf 1961
- A. Schrader, A. Rose: *De Ferri Metallographia II*. Verlag Stahleisen m.b.H., Düsseldorf 1976
- Legirani alatni čelici. Katalog Železarne Ravne 122/83
- Böhler Schweißzusatzwerkstoffe für Werkzeugstähle
- R. Kejžar: Platiranje konstrukcijskih jekel z navarjanjem. *Kovine, zlitine, tehnologije*, 28, 1994, 1-2, 95-100
- R. Kejžar: Refinement of working surfaces by submerged arc hardfacing. *Proceedings of the international conference on the joining of materials, JOM-5*, Helsingor 1991, 117-126
- R. Kejžar: Hardfacing by submerged arc welding. *Proceedings of the 2nd international conference on tooling "Neue Werkstoffe und Verfahren für Werkzeuge"*, Bochum 1989, 301-314
- R. Kejžar: Izdelava orodij z navarjanjem. *Zbornik s 40. posveta o metalurgiji in kovinskih gradivih*, Portorož/Ljubljana 1989, 201-224
- R. Kejžar: Izdelava in vzdrževanje orodij z navarjanjem. *Varilna tehnika*, 32, 1983, 4, 81-83
- R. Kejžar: Obnavljanje rezilnih robov in delovnih površin orodij. *Varilna tehnika*, 30, 1981, 2, 42-45
- Weld Surfacing and Hardfacing. The Welding Institute, Abington Hall Abington Cambridge CB 1 GAL, 1980
- R. Kejžar: 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
- R. Kejžar: Razširjene perspektive navarjanja močno legiranih nanosov. *Kovine, zlitine, tehnologije*, 29, 1995, 1-2, 113-116
- R. Kejžar: 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
- R. Kejžar: Some results referring to alloying of submerged arc surfacings in multiple electrode welding. *IIW/IIIS Madrid 1992*, Doc. 212-813-92 (15 strani)
- R. Kejžar: Navarjanje močno legiranih nanosov na konstrukcijska jekla. *Varilna tehnika*, 41, 1992, 4, 96-101
- R. Kejžar: Produktivno navarjanje orodij. *Strojniški vestnik - Tribologija*, 36, 1990, 10-12, 217-220
- J. Begeš: Strženske žice, nov proizvod Železarne Jesenice. *Varilna tehnika*, 34, 1985, 2, 35-39
- G. Rihar: Razvoj strženskih žic za navarjanje. *Varilna tehnika*, 34, 1985, 4, 95-97
- R. Kejžar, V.Živkovič: Kvaliteta abrazijsko odpornih navarov. *Kovine, zlitine, tehnologije*, 29, 1995, 1-2, 120-122
- R. Kejžar: Wear-resistance of built-up claddings. *Proceedings of the international conference on the joining of materials, JOM-7*, Helsingor 1995, 261-272
- R. Kejžar, M. Hrženjak: Izdelava orodij z navarjanjem v kokilo. *Kovine, zlitine, tehnologije*, 26, 1992, 1-2, 257-258