

Navarjanje posebnih Ni-zlitin na konstrukcijsko jeklo

Surfacing of Special Ni-Based Alloys on a Structural Steel

R. Kejžar¹, ZRMK, Ljubljana

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

Pri navarjanju močno legiranih nanosov ter zlitin na osnovi Ni in Co na nelegirana in malolegirana konstrukcijska jekla moramo zagotoviti čim manjše taljenje osnovnega materiala. To omogočajo postopki navarjanja z majhnim vnosom energije (TIG), ki pa niso zmogljivi. Pri zmogljivejših postopkih znižujemo uvarjanje (taljenje osnovnega materiala) z dodajanjem kovin v elektrodo oblogo (ročno obločno varjanje) oz. v varilni prašek (varjenje EPP). Tudi navarjanje s trakom in večžično elektrodo zelo ugodno vpliva na zmanjšanje uvarjanja v osnovno. Zaradi taljenja osnove pa posebnih Ni-zlitin z omejeno vsebnostjo železa (max. 5% Fe) nikakor ne moremo navarjati na konstrukcijsko jeklo enoplastno. V teh primerih je zaradi ekonomike priporočljivo navarjati vmesne plasti. Namesto dvo - ali tri plastnega navarjanja drage Ni-zlitine z legiranimi oplaščenimi elektrodami ali večžično Ni-elektrodo pod legiranimi aglomeriranimi praški je bolj gospodarno, da na konstrukcijsko jeklo navarimo najprej cenejšo plast niklja ter šele na vmesno plast drago, posebno Ni-zlitino.

Ključne besede: navarjanje, debelo oplaščene visokozmogljive elektrode, močno legirani aglomerirani varilni praški, posebne Ni-zlitine, navarjanje z večžično Ni-elektrodo, vmesne in vrhne plasti

When surfacing high-alloyed claddings and nickel and copper based alloys on unalloyed and low-alloy structural steels, care should be taken that melting of the parent metal is as low as possible. This is permitted by surfacing with low energy input (TIG), which, however, is not productive. With more productive processes, penetration, i.e. melting of the parent metal, is reduced by metal addition into the electrode cover (manual arc welding) and into the welding flux (submerged arc welding) respectively. Also surfacing with strip electrode and multiple-wire electrode has a very good influence on reduction of penetration into the parent metal. Owing to melting of the parent metal, special Ni-based alloys with limited iron content (max. 5% Fe) can in no way be surfaced on a structural steel in one layer. In this case it is recommended, because of cost-effectiveness, to surface intermediate layers. Instead of two-layer or three-layer surfacing of the expensive Ni-alloy with alloyed covered electrodes or submerged arc surfacing with multiple-wire electrode and with alloyed agglomerated fluxes, it is more cost-effective to surface, on a structural steel, first an intermediate layer of a cheaper Ni-layer and only then an intermediate layer of the special, expensive Ni-based alloy.

Key words: surfacing, thick-coated high-production electrodes, high-alloyed welding fluxes, special Ni-based alloys, surfacing with multiple-wire Ni-electrode, intermediate and upper layers

1 Izbira postopkov navarjanja

Postopki navarjanja omogočajo, da izdelamo iz posebnih korozijsko ali obrabno odpornih jekel in zlitin le tiste obremenjene ploskve in robove, ki se med obratovanjem obrabljajo zaradi kemičnih, mehanskih in toplotnih obremenitev. Ker je delež navara v primerjavi s celotno napravo, strojnim elementom ali orodjem večinoma zelo majhen (pod 10%), je ekonomično, da navarjamo izbrane ter najustreznejše in najkvalitetnejše nanose korozijsko in obrabno odpornih zlitin¹⁻⁵.

Pri navarjanju močno legiranih nanosov ter zlitin na osnovi Ni in Co na nelegirana in malolegirana konstrukcijska jekla moramo zagotoviti čim manjše taljenje osnovnega materiala (slika 1).

Majhno uvarjanje (taljenje osnovnega materiala) omogočajo postopki z majhnim vnosom energije, npr. postopek TIG. Hiba teh postopkov pa je nizka produktivnost (tabela 1). Pri zmogljivejših postopkih znižujemo taljenje osnove (% uvara) z dodajanjem kovin v elektrodo oblogo oz. v varilni prašek.

Tabela 1: Produktivnost izbranih postopkov 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 |

Posebno zahtevno je navarjanje Ni-zlitin z omejeno vsebnostjo železa (npr.: max. 5% Fe) na konstrukcijska jekla. Ta navarjanja so vedno večplastna. Zaradi ekonomike je priporočljivo navarjati po postopkih, za katere je značilno majhno taljenje osnovnega materiala (nizek % uvara) ter na konstrukcijsko jeklo navariti najprej plast niklja in šele na vmesno plast drago, posebno Ni-zlitino⁶.

2 Dodajni materiali

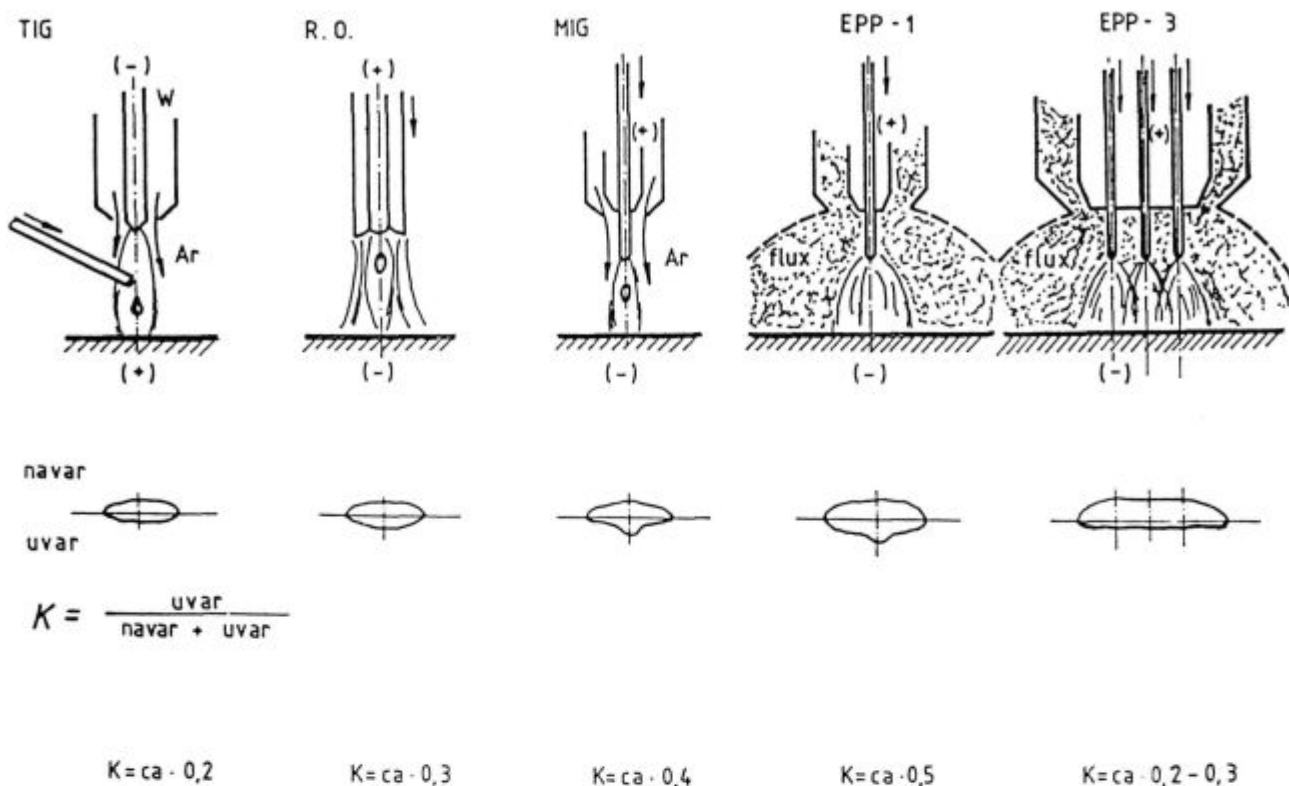
2.1 Navarjanje po postopku TIG

Kot dodajni material za navarjanje Ni in Ni-zlitin po postopku TIG lahko uporabimo žice iz čistega niklja (Nikelin) in žice iz izbranih Ni-zlitin (Ravnin 4 in Nimonic C. 263; Železarna Ravne - tabela 2).

Tabela 2: Kemična sestava izbranih žic iz Ni in Ni-zlitin⁷⁻⁹

| Dodajni material (TIG-post.) | C (%) | Cr (%) | Co (%) | Mo (%) | Ti (%) | Al (%) | Ni (%) | Ostalo (%) |
|------------------------------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------------------|
| Nikelin | - | - | - | - | - | - | ca.99 | ca.1%Fe |
| Ravnin 4 | 0,1 | 19 | - | - | - | - | ca.78 | ca.1%Fe in 1%Mn |
| Nimonic C.263 | 0,06 | 20 | 20 | 5,8 | 2,2 | 0,5 | ca.50 | ca.1% Fe |

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



Slika 1: Taljenje osnovnega materiala pri izbranih obločnih postopkih navarjanja
 Figure 1: Fusion of the parent metal in arc surfacing processes selected

Pri navarjanju Ni in Ni-zlitin na konstrukcijsko jeklo po postopku TIG moramo upoštevati prekrivanje varkov (slika 2).

Zaradi prekrivanja varkov je večvarkovni enoplastni nanos nehomogen in bolj legiran kot prvi varek (tabela 3).

Tabela 3: Kemična sestava večvarkovnega enoplastnega nanosa niklja na konstrukcijsko jeklo

| Varek (postopek TIG) | -prvi | -drugi | -tretji | -četrti | -deveti | -deseti |
|----------------------|-------|--------|---------|---------|---------|---------|
| %uvara (talj.osnove) | 20 | 13,6 | 13,1 | 13,0 | 13,0 | 13,0 |
| % Fe | 20,6 | 14,3 | 13,8 | 13,8 | 13,8 | 13,8 |
| % Ni | 79,2 | 85,5 | 86,0 | 86,1 | 86,1 | 86,1 |

Sestavo varkov pri 50%-nem prekrivanju izračunamo po enačbi 1:

$$\% Me_n = (1-K) \cdot \% Me_{ev} + 0,4 K \cdot \% Me_{n-1} + 0,6 \cdot K \cdot \% Me_{OM}$$

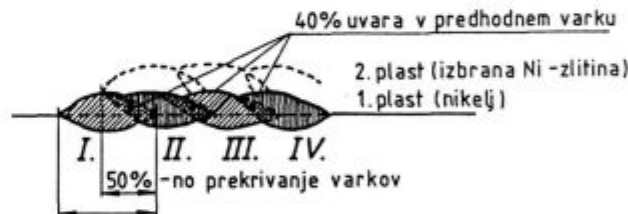
Legenda oznak:

$\% Me_{ev}$, $\% Me_{OM}$, $\% Me_n$ in $\% Me_{n-1}$ - odstotni delež izbranega elementa v čistem varu, osnovnem materialu ter varkih "n" in "n-1".

K - koeficient mešanja

n - varek (-prvi, -drugi ... -deseti)

Da zagotovimo kar najboljšo homogenost celotnega nanosa, je priporočljivo navarjati drugo plast tako, da prvi varek navarimo na zadnji varek prve plasti (tabela 4).



Slika 2: Shema navarjanja ploskve po postopku TIG (uvar = 20%)
 Figure 2: Scheme of TIG surfacing of a surface (penetration = 20%)

Tabela 4: Kemična sestava druge plasti večvarkovnega nanosa niklja na konstrukcijsko jeklo

| Varek (postopek TIG) | -prvi | -drugi | -tretji | -četrti | -deveti | -deseti |
|----------------------|-------|--------|---------|---------|---------|---------|
| % Fe | 3,6 | 2,7 | 2,7 | 2,7 | 2,7 | 3,5 |
| % Ni | 96,4 | 97,2 | 97,3 | 97,3 | 97,2 | 96,5 |

Če priporočila ne upoštevamo, bo druga plast večvarkovnega nanosa znatno bolj nehomogena (tabela 5).

Tabela 5: Kemična sestava druge plasti večvarkovnega nanosa niklja na konstrukcijsko jeklo

| Varek (postopek TIG) | -prvi | -drugi | -tretji | -četrti | -deveti | -deseti |
|----------------------|-------|--------|---------|---------|---------|---------|
| % Fe | 4,9 | 2,9 | 2,7 | 2,7 | 2,7 | 2,7 |
| % Ni | 95,0 | 97,1 | 97,3 | 97,3 | 97,3 | 97,3 |

Iz **tabele 5** (neugoden razpored varkov) je razvidno, da pri navarjanju Ni in Ni-zlitin na konstrukcijsko jeklo po postopku TIG zadostuje že dvoplastno navarjanje, da vsebnost železa v vrhnji plasti ne preseže 5 %.

2.2 Navarjanje z opllaščenimi elektrodami

Za ročno obločno navarjanje Ni in Ni-zlitin na konstrukcijsko jeklo sta zanimivi elektrodi Superfonte Ni (Železarna Jesenice) in Fox SACA (Böhler). Elektroda Superfonte Ni je tanko opláščena, v elektrodni oblogi so poleg mineralnih komponent le dodatki za dezoksidacijo vara. Nasprotno pa je elektroda Fox SACA debelo opláščena z visoko vsebnostjo kovin za legiranje navara v elektrodni oblogi, kar zelo poveča izkoristek varjenja (η) ter zaradi hlajenja kopeli vara znižuje taljenje osnovnega materiala (**tabela 6**).

Tabela 6: Osnovni podatki in kemični sestavi čistih varov za elektrodi Superfonte Ni in Fox SACA^{10,11}

| Elektroda | η (%) | C (%) | Cr (%) | Mo (%) | W (%) | Ni (%) | Ostalo |
|---------------|---------------|----------|-----------|-----------|----------|-----------|--------------------|
| Superfonte Ni | 98 | 40 | - | - | - | ca.98 | ca.1%Fe in 1%Mn |
| Fox SACA | 180 | 22 | 0,06 | 17 | 17 | 5 | ca.55 (ca.3%Fe) |

Prekrivanje varkov tudi pri ročno obločnem navarjanju Ni in Ni-zlitin na jeklo pomembno vpliva na kemično sestavo in s tem tudi lastnosti zgornje plasti navara (**tabela 7 in 8**).

Tabela 7: Kemična sestava prve, druge in tretje plasti večvarkovnega nanosa niklja na konstrukcijsko jeklo

| Varek (Superfonte Ni) | - | | | | | |
|-----------------------|-------|--------|---------|---------|---------|--------|
| | -prvi | -drugi | -tretji | -četrti | -deseti | -prvi* |
| prva plast | | | | | | |
| % Fe | 40,2 | 30,8 | 29,3 | 29,0 | 29,0 | 40,2 |
| % Ni | 58,8 | 68,2 | 69,7 | 70,0 | 70,0 | 58,8 |
| druga plast | | | | | | |
| % Fe | 12,2 | 9,5 | 9,1 | 9,0 | 11,8 | 16,7 |
| % Ni | 86,8 | 89,5 | 89,9 | 90,0 | 87,2 | 82,3 |
| tretja plast | | | | | | |
| % Fe | 5,3 | 3,7 | 3,4 | 3,3 | 4,1 | 7,3 |
| % Ni | 93,7 | 95,3 | 95,6 | 95,7 | 94,9 | 91,7 |

* prvi varki pri najbolj neugodnem vrstnem redu navarjanja

Zaradi intenzivnega taljenja osnovnega materiala (% uvara) elektroda Superfonte Ni ni primerna za navarjanje niklja na konstrukcijsko jeklo. Vsaj triplastno navarjanje je potrebno, da bo vsebnost železa v zgornji navarjeni plasti pod 5% (**Tabela 7**). Za navarjanje Ni-zlitin na konstrukcijsko jeklo je znatno primernejša debelo opláščena močno legirana elektroda Fox SACA. Z njo že z dvoplastnim navarjanjem (pod pogojem, da je vsebnost železa v čistem varu pod 3%) zagotovimo zelo nizke vsebnosti železa v vrhnji plasti (**Tabela 8** - izračun za 3%-no vsebnost Fe v čistem varu).

Tabela 8: Kemična sestava prve in druge plasti večvarkovnega nanosa posebne Ni-zlitine na konstrukcijsko jeklo

| Varek (Fox SACA) | - | | | | | |
|------------------|-------|--------|---------|---------|---------|--------|
| | -prvi | -drugi | -tretji | -četrti | -deseti | -prvi* |
| prva plast | | | | | | |
| % Fe | 24,1 | 17,5 | 17,0 | 16,9 | 16,9 | 24,1 |
| % Cr | 13,3 | 14,4 | 14,5 | 14,5 | 14,5 | 13,3 |
| % Mo | 13,3 | 14,4 | 14,5 | 14,5 | 14,5 | 13,3 |
| % W | 3,9 | 4,2 | 4,3 | 4,3 | 4,3 | 3,9 |
| % Ni | 42,9 | 46,7 | 47,0 | 47,0 | 47,0 | 42,9 |
| druga plast | | | | | | |
| % Fe | 6,1 | 5,1 | 5,0 | 5,0 | 6,0 | 7,6 |
| % Cr | 16,5 | 16,6 | 16,6 | 16,6 | 16,5 | 16,2 |
| % Mo | 16,5 | 16,6 | 16,6 | 16,6 | 16,5 | 16,2 |
| % W | 4,8 | 4,9 | 4,9 | 4,9 | 4,8 | 4,8 |
| % Ni | 53,2 | 53,8 | 53,8 | 53,8 | 53,3 | 52,3 |

* prvi varki pri najbolj neugodnem vrstnem redu navarjanja

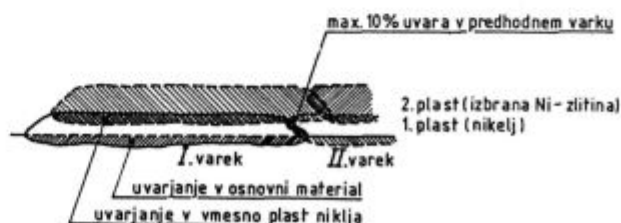
2.3 Navarjanje pod močno legiranimi praški

Za platiranje večjih površin in navarjanje daljših navarov posebnih Ni-zlitin na nelegirana in malo legirana konstrukcijska in cenena orodna jekla je zelo perspektivno navarjanje pod močno legiranimi aglomeriranimi praški. Posebno vzpodbudni so rezultati navarjanja pod legiranimi praški z večžično elektrodo^{6,12-15}.

Za navarjanje Ni in Ni-zlitin na konstrukcijsko jeklo lahko uporabimo žice iz čistega niklja in izbranih Ni-zlitin (Nikelin, Ravnin 4, Nimonic C. 263 ... **tabela 2**). Izdelali pa smo tudi posebna legirana aglomerirana praška za navarjanje vmesnih slojev niklja (SM-Ni 200) in vrhnje plasti posebne Ni-zlitine (SM-Ni Mo) na jeklo. Kemični sestavi čistega vara, za navarjanja s kombinacijami žica/prašek: Nikelin/SM-Ni 200 in Ravnin 4/SM-Ni Mo, sta podani v **tabeli 9**.

Tabela 9: Osnovni podatki in kemični sestavi čistih varov za navarjanje z večkratno elektrodo (ϕ 2 mm) pod legiranim aglomeriranim praškom (I = 200 A/žico, U = 40 V)

| Varilni prašek | Varilna žica | η (%) | uvar (%) | C (%) | Cr (%) | Mo (%) | W (%) | Ni (%) | Fe (%) |
|----------------|--------------|---------------|-------------|----------|-----------|-----------|----------|-----------|-----------|
| SM-Ni 200 | Nikelin | 200 | 20 | pod0,1 | - | - | - | ca.98 | ca.1 |
| SM-Ni Mo | Ravnin 4 | 220 | 20 | pod0,1 | 18 | 18 | 5 | ca.55 | ca.1 |



Slika 3: Shema navarjanja ploskev z večžično elektrodo pod legiranimi aglomeriranimi praški
Figure 3: Scheme of submerged arc surfacing of a surface with multiple-wire electrode and with alloyed agglomerated fluxes

Prekrivanje varkov je pri navarjanjih z večžično elektrodo nepomembno za kemično sestavo večvarkovno navarjenih nanosov. Tako izdelane prevleke so zato kemično homogene in zelo kvalitetne (slika 3 in tabela 10).

Tabela 10: Kemična sestava prvega in drugega večvarkovnega nanosa niklja (prva plast) in posebne Ni-zlitine (druga plast) na konstrukcijsko jeklo po postopku navarjanja z večkratno elektrodo (3 žice, ϕ 2 mm) pod legiranimi aglomeriranim praškom (I = 200 A/žico, U = 40 V)

| Varek | -prvi | -drugi | -tretji | -četrti | -deseti | -prvi* |
|--------------------------------|-------|--------|---------|---------|---------|--------|
| prva plast(Nikelin/SM-Ni 200) | | | | | | |
| Fe | 20,6 | 19,0 | 19,0 | 19,0 | 19,0 | 20,6 |
| Ni | 78,4 | 80,0 | 80,0 | 80,0 | 80,0 | 78,4 |
| druga plast(Ravnin 4/SM-Ni Mo) | | | | | | |
| Fe | 4,6 | 4,3 | 4,3 | 4,3 | 4,6 | 4,9 |
| Cr | 14,4 | 14,7 | 14,7 | 14,7 | 14,7 | 14,4 |
| Mo | 14,4 | 14,7 | 14,7 | 14,7 | 14,7 | 14,4 |
| W | 4,0 | 4,1 | 4,1 | 4,1 | 4,1 | 4,0 |
| Ni | 60,0 | 59,6 | 59,6 | 59,6 | 59,3 | 59,7 |

* prvi varki pri najbolj neugodnem vrstnem redu navarjanja

Sestavo varkov pri 10%-nem prekrivanju izračunamo po enačbi 2:

$$\%Me_n = (1-K)\%Me_{ev} + 0,1 \cdot K \cdot \%Me_{n-1} + 0,9 \cdot K \cdot \%Me_{OM}$$

Pri opisanem navarjanju z večkratno elektrodo pod močno legiranimi praški (tabela 10) zadostuje že dvoplastno navarjanje, da v zgornji navarjeni plasti vsebnost železa ne bo presegala zahtevane vrednosti (max. 5% Fe). Z navarjanjem cenejše plasti niklja na konstrukcijsko jeklo (navarjanje vmesne plasti) znatno zmanjšamo porabo dragih kovin (Mo, W ...) in istočasno zagotovimo tudi njihovo maksimalno izrabo, saj so dragi legirni elementi samo v zgornji navarjeni plasti, ki je kemično zelo homogena (tabela 10).

3 Sklep

Posebne Ni-zlitine lahko navarjamo na nelegirana in malolegirana konstrukcijska ter cenena orodna jekla po različnih varilnih postopkih. Navarjanje po postopku TIG je enostavno in kvalitetno, toda nemogoče. Primerno je le za manjša popravila. Nekoliko bolj zmožljivo je ročno obločno navarjanje. Z elektrodo Fox SACA dobimo zelo kvalitetne nanose. Za ekonomično navarjanje Ni-zlitin na konstrukcijska jekla pa bi morali

namesto elektorde Superfonte Ni razviti novo debelo opláščeno visokozmogljivo elektrodo za navarjanje vmesnih plasti. Za platiranje večjih površin in navarjanje daljših nanosov posebnih Ni-zlitin pa je posebno primerno avtomatsko navarjanje z večžično elektrodo (Nikelin, Ravnin 4 ...) pod visokozmogljivimi in močno legiranimi aglomeriranimi praški (SM-Ni 200, SM-Ni Mo...).

Hiba avtomatskega navarjanja z večžično elektrodo pod praškom so omejitve, vezane na geometrijo strojnih delov in naprav. Omenjeno težavo lahko premostimo s polavtomatskim navarjanjem s strženskimi žicami na Ni - osnovi po postopku MIG/MAG (primer: Soudometal/Interweld - strženska žica "C 95-0"; lit. 16).

4 Literatura

- R. Kejžar: Platiranje konstrukcijskih jekel z navarjanjem. *Kovine, zlitine, tehnologije*, 28, 1994, 1-2, 95-100
- R. Kejžar: Navarjanje močno legiranih nanosov na konstrukcijska jekla. *Varilna tehnika*, 41, 1992, 4, 96-101
- A. Diebold: Verschleiss- und Korrosionsminderung. *Schweisstechnik*, 32, 1978, 7, 129-133
- R. Kejžar: Izdelava in obnavljanje orodij z navarjanjem. *Zbornik seminarja "Materiali in sodobna izdelava"*, Ljubljana 1991, 117-136
- 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: Submerged Arc Surfacing with Multiple - Wire Electrode and Alloyed Agglomerated Fluxes. *Proceedings of the International Conference on the Joining of Materials, JOM 4*, Helsingor 1989, 273-279
- F. Grešnovnik: Razvojne tendence Železarne Ravne na področju proizvodnje materiala. *Zbornik savjetovanja o sadašnji i budućoj proizvodnji specialnih slitina u Željezari Ravne*, Kotlje 1989, 10 strani
- D. Dobi: Superlegure na bazi niklja. *Zbornik savjetovanja o sadašnji i budućoj proizvodnji specialnih slitina u Željezari Ravne*, Kotlje 1989, 40 strani
- S. Petovar: Tehnološke posebnosti izrade specialnih slitina. *Zbornik savjetovanja o sadašnji i budućoj proizvodnji specialnih slitina u Željezari Ravne*, Kotlje 1989, 10 strani
- Dodajni materiali za varjenje. *Katalog Železarne Jesenice 1991*
- Böhler Sweisszusatzwerkstoffe für Werkzeugstähle (s. 25)
- 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: Legirani aglomerirani praški za posebna navarjanja. *Rudarsko-metalurški zbornik*, 38, 1991, 2, 275-290
- R. Kejžar: Alloying Processes in Submerged Arc Surfacing with Alloyed Agglomerated Fluxes. *IIW Doc. 212-844-93*
- R. Kejžar: Some Results Referring to Alloying of Submerged Arc Surfacing in Multiple Electrode Welding. *IIW Doc. 212-813-92*
- Fülldrähte für die Auftragschweissung. *Soudometal/Interweld (s. 33)*