



Sead Avdić^{1a}, Namik Džibrić¹, Azur Mandžukić¹

PRISTUP ZA ODREĐIVANJE TEHNOLOGIJE REPERATURNOG ZAVARIVANJA ZUPČANIKA KRUŽNOG KRETANJA BAGERA EŠ 10/70

APPROACH FOR DETERMINATION OF TECHNOLOGY FOR REPAIR WELDING OF EXCAVATOR GEARS FOR CIRCULAR MOTION EŠ 10/70

Stručni rad / Professional paper

Rad je u izvornom obliku objavljen u Zborniku sa 31. Savetovanja sa međunarodnim učešćem "Zavarivanje 2020" održanog u Kladovu, Srbija od 13. do 16. Oktobra 2021.

Rad primljen / Paper received:

Septembar 2021.

Rad prihvaćen / Paper accepted:

Decembar 2021.

Ključne reči: Bager, reduktor, zupčanik, pukotine, reparaturno zavarivanje

Rezime

Svaka havarija i oštećenje na postrojenju ili mašini uzrokovana je nekom većom postojećom greškom u materijalu, zavarenom spoju, starenjem, korozijom, trošenjem ili preopterećenjem u eksploatacionim uslovima. Uzrok može biti i loše konstrukciono rješenje. Kada postrojenje ili mašina stane radi havarije, obično nastaje panika, naročito ako je od vitalne važnosti za proizvodni proces. U većini slučajeva traži se brzo, makar i privremeno rješenje, što u pravilu produžava vrijeme dovođenja mašine u ispravno stanje. Iskustveno se pokazalo da takvim popravkama treba prilaziti stručno, savjesno i sistemski prema određenom redosljedju, uz povećane napore u organizaciji i izvršenju popravki. U radu je prikazano reparaturno zavarivanje zuba na ozubljenom vratilu reduktora kružnog kretanja bagera EŠ 10/70, u Rudniku mrkog uglja „Đurđevik“ koji posluje u sastavu Elektroprivrede Bosne i Hercegovine.

1. Uvod

Pri nastanku oštećenja u eksploatacionom procesu, ili za potrebe održavanja pojedinih dijelova, uređaja, mašina te čitavih postrojenja, primjenjuju se razne tehnologije popravki reparaturnim zavarivanjem. Redovnim održavanjem i kvalitetnim popravkama produžuje se radni vijek postrojenja, mašine i dr., što omogućava normalan rad do nabavke novog dijela. Uštede kod takvih

Adresa autora / Author's address:

¹ Institut za zavarivanje d.o.o. Tuzla, Bosne Srebrene br.6, 75000 Tuzla, BiH

^aE mail: avdic.inz@gmail.com

Keywords: Excavator, reducer, gear, cracks, repair welding

Abstract

Any breakdown and damage to the plant or machine is caused by a major existing defect in the material, welded joint, aging, corrosion, wear or overload under operating conditions. The cause can also be a bad design solution. When a plant or machine stops due to a breakdown, panic usually occurs, especially if it is vital to the production process. In most cases, a quick, even temporary solution is chosen, which usually prolongs the time of bringing the machine into proper condition. Experience has shown that such repairs should be approached professionally, conscientiously and systematically in a certain order, with increased efforts in the organization and execution of repairs. The paper presents the repair welding of teeth on the toothed shaft of the circular gear reducer of the excavator ES 10/70, in the Brown Coal Mine "Đurđevik", which operates as part of the Electric Power Industry of Bosnia and Herzegovina.

popravki mogu biti ogromne, što zavisi od sposobnosti stručnih radnika koji rješavaju te probleme.

Kod primjene tehnologije popravki značajno mjesto zauzimaju zavarivanje, navarivanje, naštrcavanje i lemljenje. Popravke tim tehnikama praktično se primjenjuju svuda: u energetici, željezarama, valjaonicama, rudarstvu, građevinarstvu, brodogradnji, transportu, hemijskoj,



petrohemijskoj, naftnoj, tekstilnoj, papirnoj i prehrambenoj industriji. Nerijetko se smatra da je popravka nekog dijela privremeno rješenje („krpljenje“), međutim, kvalitetno izvedena popravka može biti rješenje, često bolje od postojećeg, pa čak i novog dijela.

2. Definisanje problema

Bager dreglajn (EŠ 10/70) je konstruktivno predviđen za otkopavanje materijala ispod nivoa platoa na kojem se nalazi tj. za dubinski rad sa otkopavanjem materijala povlačenjem kašike "prema sebi". Bager se postavlja u blizini gornje ivice etažne kosine. Pri opuštenom vučnom užetu, a pomoću užeta za podizanje kašike, kašika se spušta na dno, zatim se vučnim užetom kašika povlači ka strijeli bagera. Kašika se pod dejstvom

sopstvene težine urezuje u materijal i puni se otkopanim materijalom. Dubina odreska se reguliše zatezanjem užeta za dizanje kašike. Kada je kašika puna materijala, nakratko se prikoči vučni doboš i stavlja se u pogon doboš za dizanje kašike. Kao rezultat toga, uže za dizanje kašike, vučno uže i istovarno uže se zatežu, a kašika se diže u horizontalnom položaju. Istovremeno sa podizanjem kašike uključuje se mehanizam za kružno kretanje platforme pa se ista zajedno sa strijelom i kašikom okreće do mjesta pražnjenja kašike. Opuštanjem vučnog užeta kašika se prevrće i prazni. Platforma se zatim, zajedno sa strijelom i kašikom okreće ka mjestu ponovnog utovara materijala i to pri istovremenom opuštanju užeta za podizanje kašike tj. pri istovremenom spuštanju kašike (slika 1).



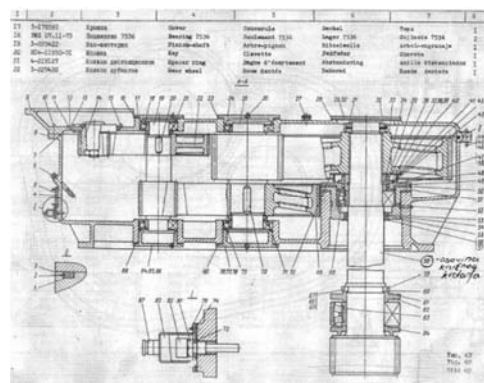
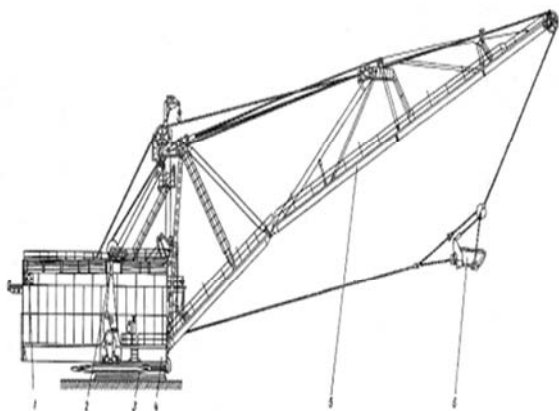
Proizvođač	HKM3 Ukraina
Tip	EŠ 10/70
Godina proizvodnje	1986
Vrsta pogona	Elektro
Instalisana snaga	1370 kW
Masa bagera	680 tona
Priključni napon	6000 V
Specifični pritisak na tlo u radu	9,4 N/cm ²
Specifični pritisak na tlo u kretanju	19,4 N/cm ²
Zapremina kašike	10 m ³
Dužina katarke	70 m
Ugao nagiba katarke	30 °
Dubina kopanja u frontu	35 m
Najveći radijus istresanja	66,5 m
Najveća visina istresanja	27,5 m
Radius okretanja kabine bagera	4,9 m
Prečnik baze	9,7 m
Dužina papuče	11 m
Širina papuče	1,8 m
Bržina premještanja po horiz. putu	0,2 km/h
Širina bagera	13,7 m
Visina bagera	9,6 m

Slika 1. Tehničke karakteristike bagera 10/70

Figure 1. Technical characteristics of the 10/70 excavator

Prilikom svakog punjenja i pražnjenja kašike bagera, mašinski sklopovi trpe velika dinamička i udarna opterećenja, čime se prouzrokuju razna oštećenja i lomovi mašinskih elemenata i sklopova. Mehanizmi za kružno kretanje bagera (slika 2),

često stradaju upravo zbog velikih opterećenja u eksploataciji na površinskim kopovima, a i zbog loše pripremljenih platoa na kojima su bageri locirani.



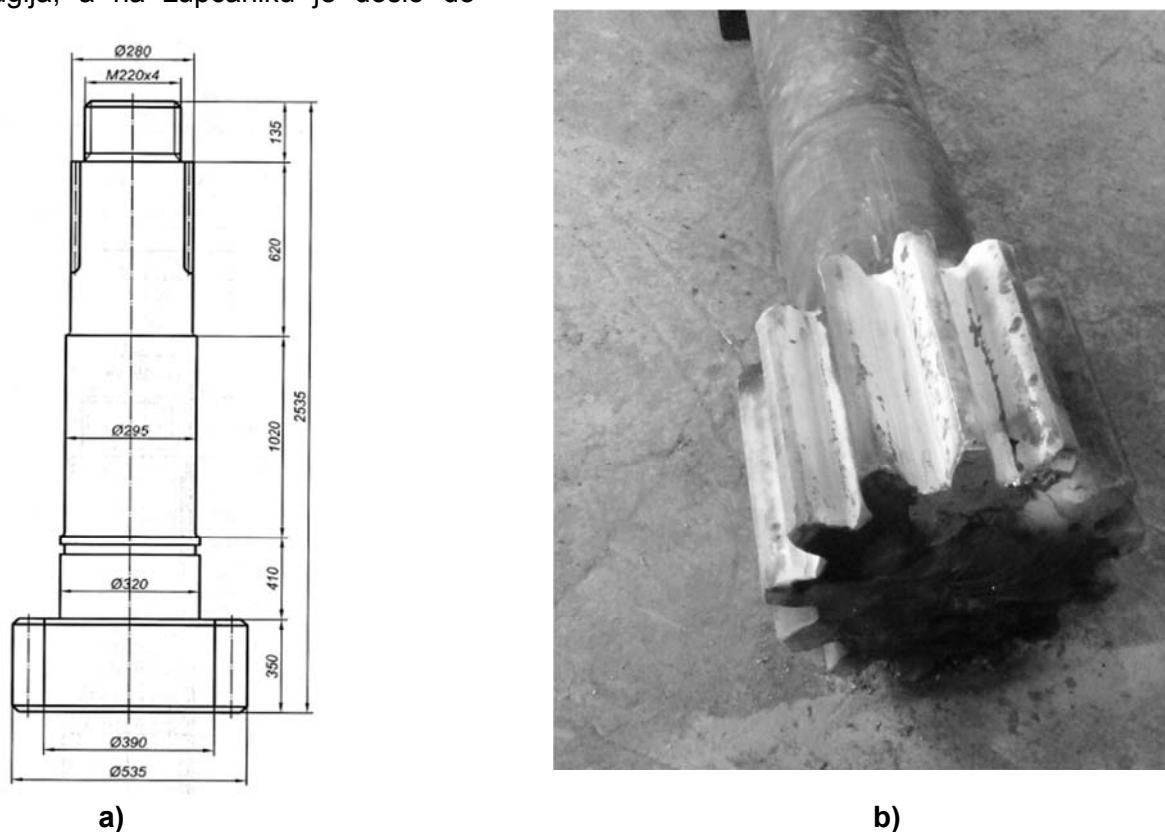
Slika 2. Šematski prikaz bagera 10/70 i sklop reduktora za kružno kretanje bagera

Figure 2. Schematic presentation of the excavator 10/70 and the assembly of the reducer for the circular movement of the excavator



Nakon otkaza bagera i zaustavljanja njegovog rada u eksploataciji, dijagnostikom je utvrđen lom jednog zuba, potpuno kidanje zuba u korijenu. Na slici 3 je prikazano ozubljeno vratilo reduktora kružnog kretanja bagera i stanje polomljenog zuba nakon dva pokušaja popravke. Rudnik je sa sopstvenim stručnim kadrovima i opremom pokušavao riješiti problem koji je postajao sve složeniji. Poslije zavarivanja ponovo su se pojavljivale prsline koje su se širile i na sljedeće zube zupčanika. Izgubljeno je veoma dragocjeno vrijeme koje je uticalo na sam proizvodni proces eksploatacije uglja, a na zupčaniku je došlo do

degradacije materijala u više pokušaja zavarivanja. Preveliki unos toplote u materijal, žlijebljenje, brušenje, pa ponovno zavarivanje je faktički stvorio uslove nemogućnosti ponovnog zavarivanja. Nakon svih neuspjelih pokušaja moralo se pristupiti promjeni tehnologije sanacije zupčanika, trebalo je osmisliti novi pristup problemu i definisati tehnologiju zavarivanja spornog zuba na ozubljenom vratilu. Samo vratilo se može svrstati u gabaritni mašinski element, dužina vratila je 2535 mm, vanjski prečnik zupčanika na tom vratilu je 535 mm, a dužina zubi 350 mm, modul zupčanika je 36.

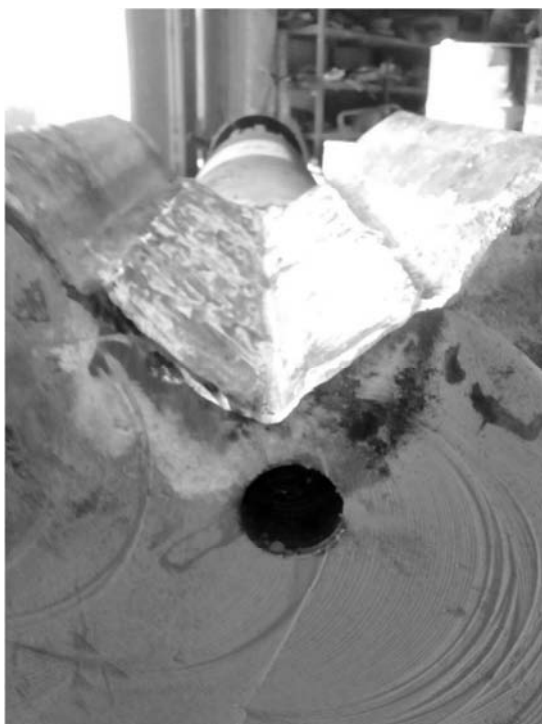


Slika 3. Ozubljeno vratilo reduktora kružnog kretanja bagera 10/70, a) Ozubljeno vratilo, modul 36, b) Stanje polomljenog zuba nakon dva pokušaja popravke

Figure 3. Toothed shaft of the reducer for the circular movement of the excavator 10/70, a) Toothed shaft, module 36, b) Condition of broken tooth after two repair attempts

Nakon svih prikupljenih podataka i konsultacija sa odgovornim inženjerima za bager, donesena je odluka o popravci zuba tehnologijom reparaturnog zavarivanja. Tako se sada ušlo u novi (treći) pokušaj rješavanja problema uz jedan drugačiji i odgovorniji pristup. S obzirom da je proizvođač bagera iz Ukrajine i da nije bilo moguće izvršiti nabavku novog rezervnog ozubljenog vratila, ponuđeni rok za isporuku je bio minimalno 4 mjeseca što rukovodstvu u rudniku nije odgovaralo iz niza razloga, stoga se moralo pokušati osposobiti

bager, bar privremeno dok se ne iznađe trajnije rješenje. Pošto su bila dva neuspješna pokušaja zavarivanja zuba, nije bilo realno ponovo pokušavati zavariti isti zub iz metalurških razloga i degradacije materijala, tako da je na skladištu polomljenih dijelova bagera pronađeno ozubljeno vratilo sa neoštećenim zubima, ali je odbačeno kao neupotrebljivo zbog druge vrste loma. Sa tog vratila je isječen jedan ispravan zub koji bi se zavarilo i na osnovu toga se pristupilo određivanju tehnologije zavarivanja (slika 4).



Slika 4. Priprema zuba za prenos na drugo vratilo kružnog kretanja bagera 10/70

Figure 4. Preparation of teeth for transfer to the second shaft for the circular motion of the excavator 10/70

3. Eksperiment

3.1. Osnovni i dodatni materijal

Za popravku zavarivanjem važno je utvrditi stanje materijala oštećenog dijela. U dokumentaciji postrojenja ili mašine trebalo bi da se nalaze i podaci o ugrađenom materijalu, međutim u ovom

slučaju u dokumentaciji to ne postoji, pa je bilo potrebno ispitivanjem utvrditi vrstu materijala. Za utvrđivanje vrste i stanja materijala uzet je brušenjem uzorak sa polomljenog zupčanika i u laboratoriji je urađeno ispitivanje hemijskog sastava (slika 5).

**Tabela 1. Hemijski sastav osnovnog materijala****Table 1. Chemical composition of the parent material**

MATERIJAL	C [%]	Si [%]	Mn [%]	P [%]	S [%]	Cr [%]	Mo [%]	Ni [%]	V [%]	Cu [%]	Ceq
ISPITNI UZORAK	0,33	0,29	0,66	0,036	0,044	0,81	0,22	3,03	0,00	0,015	0,85
36CRNIMO4 (Č.5430), 1.6511	0,36	0,25-0,35	0,65	0,035	0,035	1,05	0,22	1,05	-	-	

Tabela 2. Mehaničke osobine osnovnog materijala**Table 2. Mechanical properties of the parent material**

OZNAKA	Rp 0.2% [N/mm ²]	Rm [N/mm ²]	A ₅ [%]	Tvrdoća HB
36CRNIMO4 (Č.5430), 1.6511	1000	1200	11	217

Dodatni materijali za zavarivanje korijena su elektrode E 18 8 Mn B 22 prema EN ISO 3581-A ili E 307-15 prema AWS A-5.4 (proizvođač Elektrode Jesenice). Dodatni materijali moraju biti propisno

usklađeni. Obavezno se prije upotrebe vrši vizuelna kontrola dodatnog materijala. Sušenje bazične elektrode je 2 h na 300°C.

Tabela 3. Hemijski sastav čistog metala šava**Table 3. Chemical composition of the weld metal**

OZNAKA	C [%]	Si [%]	Mn [%]	P [%]	S [%]	Cr [%]	Mo [%]	Ni [%]
E 18 8 Mn B 22	0,12	0,8	7,0	-	-	19,0	-	9,0

Tabela 4. Mehaničke osobine čistog metala šava**Table 4. Mechanical properties of the weld metal**

OZNAKA	Rp 0.2% [N/mm ²]	Rm [N/mm ²]	A ₅ [%]	Av [J]
E 18 8 Mn B 22	> 350	590-690	> 40	> 80 J (+20°C)

Analysen - Protokoll															
Probe: Osovina za reduktor kruznog kretanja bagera															
Kunde: Rudnik "Djurdjevik"															
Adresse: Djurdjevik															
Ort: Zivinice															
Programm Nr: 11				Programmbeschreibung: StahI niedriglegiert						Datum: 9.12.2016					
Mittelwert:															
C	Si	Mn	P	S	Cu	Al	Cr	Mo	Ni	V	Ti	Nb	Co	B	Ceq
0,33	0,29	0,66	0,036	0,044	0,015	0,003	0,81	0,22	3,03	0,00	0,003	0,010	0,04	0,010	0,85

Slika 5. Protokol o ispitivanju hemijskog sastava materijala**Figure 5. Protocol on testing the chemical composition of materials**



3.2. Izvođenje reparaturnog zavarivanja

Sanacija prslina, odnosno zamjena polomljenog zuba na ozubljenom vratilu reduktora kružnog

kretanja bagera EŠ 10/70, rađena je reparaturnim zavarivanjem uz primjenu propisane tehnologije zavarivanja, uz strogi nadzor njene primjene.



Slika 6. Predgrijavanje i zavarivanje vršeno simetrično u paru

Figure 6. Preheating and welding performed symmetrically in a pair

Priprema i zavarivanje zuba ozubljenog vratila vršeno je u skladu sa sledećim uputstvima [1]:

- površinu zavarivanja obrusiti do metalnog sjaja, a eksploatacijom orvrđnutu površinu oko zavara takođe ukloniti (obrusiti),
- prethodno pripremljen zub (eksplantiran sa drugog polomljenog vratila) postaviti i centrirati na mjesto zavarivanja te osigurati njegovu geometriju (korak zuba),
- predgrijati materijal na cca 300 °C (koristiti kombinaciju kiseonika sa propan-butanom) (slika 6),
- zavarivanje raditi u paru sa dva zavarivača simetrično sa jedne i druge strane (slika 6),
- za zavarivanje korijenog prolaza koristiti elektrodu ϕ 2,5 mm po dva prolaza sa jedne i druge strane zuba, obavezno „provariti“ korijen (elektroda Jesenice, INOX B 18 8 6 - ISO 3581: E 18 8 Mn B 20+ ili elektroda Zagreb EZ - KROM 20,
- ostatak zavarivanja, tj popunu i završni zavar raditi istim elektrodama prečnika ϕ 3,25 mm i ϕ 4,0 mm,
- prije zavarivanja osušiti elektrode u peći za sušenje istih, uz parametre 2h/300°C,
- nakon zavarivanja obezbijediti lagano hlađenje umotavanjem zavarenog mjesta (koristiti termo vunu „tervol“ ili u nedostatku adekvatnog materijala može se koristiti i azbestno platno, ali nije preporučljivo,
- nakon hlađenja izvršiti ispitivanja zavara metodama bez razaranja u kombinaciji VT, PT i obavezno UT.

4. Rezultati i diskusija

Nakon više pokušaja zavarivanja pukotina zuba došlo je do ponovnog pucanja zavarenih spojeva (slika 7). Uzrok nastanka prslina poslije zavarivanja je primjena neadekvatne tehnologije zavarivanja, sam pristup problemu je bio amaterski, nepovoljni meteorološki uslovi, neadekvatna oprema. Poslije



svih neželjenih dešavanja moralo se napraviti jedan ozbiljniji i profesionalniji pristup uz provođenje

preporuka stručne osobe za zavarivanje.



a)



b)

Slika 7. Prsline nakon neuspješnog zavarivanja a) i ozubljeno vratilo nakon uspješne reparature b)

Figure 7. Cracks after unsuccessful welding a) and toothed shaft after successful repair b)

Priprema žlijeba za zavarivanje je vršena brušenjem, a oblik žlijeba po tehnološkim uputama i tehničkoj dokumentaciji i geometriji zuba (slika 4). Prije početka zavarivanja površine žlijeba sa jedne i druge strane oko zuba, čišćene su do metalnog sjaja. Mjestimično pripajanje (heftanje) izvedeno je istim tehnološkim postupkom kao i zavarivanje korijena. Pripoji prije početka zavarivanja korijena su očišćeni (prebrušeni) i vizuelno pregledani. Predgrijavanje je vršeno na temperaturu cca 300°C, a po završenom zavarivanju obezbijeđeno je lagano hlađenje zavara pod azbestnim dekama.

Nakon izvršenog zavarivanja urađena je kontrola zavarenih mjesta penetrantskom i ultrazvučnom metodom i nisu uočene nove prsline. Odman se pristupilo montaži ozubljenog vratila u reduktor kružnog kretanja bagera, i reduktor je montiran na bager. Bager je ponovo pušten u eksploataciju i od dana sanacije postrojenje je u

radu, a nisu uočene pojave novih prsline, što se pokazalo da je sanacija uspješno obavljena.

5. Zaključak

Postignuti rezultati potvrđuju ispravnost primijenjene tehnologije reparaturnog zavarivanja pri sanaciji složenih pukotina na postrojenjima koja se dugi niz godina nalaze u procesu eksploatacije.

Odabirom najoptimalnijeg postupka reparaturnog zavarivanja uz maksimalno poštovanje parametara zavarivanja i uputa koje su propisane od strane tehnologa zavarivanja moguće je dobiti tehničko rješenje koje će produžiti vijek trajanja postrojenja, odnosno obezbijediti siguran rad i spriječiti eventualni nastanak havarije.

Opravdanost reparaturnog zavarivanja je i u učešću ukupnih troškova koji su daleko manji od cijene novonabavljenog elementa, uz obezbjeđenje jednakih eksploatacijskih uslova.

Literatura / References

[1] Juraga, I., Živčić, M., Gracin, M., "Reparaturno zavarivanje", Zagreb 1994.

[2] Neale, M. J., "Tribology hand Book", Butherworths, London 1973.

[3] Kralj, S., Ivušić, V., Kranjčec, Z., "Navarivanje kao mogućnost produljenja vijeka trajanja elemenata tribosistema", Međunarodno savjetovanje, Zagreb 1988.

[4] Grupa autora, "IT – Zavarivanje", "RAD" Beograd, No.3, 1979.

[5] Kralj, S., Ivušić, V., Jarić, M., Paulić, E., "Izbor dodatnih materijala za navarivanje", Zavarivanje 3-4, Zagreb, 1989.

[6] Lukačević, Z., "Zavarivanje", Slavonski Brod 1998.

[7] Juraga I., Ljubić K., Živčić M.: Pogreške u zavarenim spojevima, Zagreb, 1998.

[8] M.Novosel, D.Krumes: Posebni čelici, Sveučilište u Osijeku, 1998.