

# REGENERACIJA POLOMLJENIH ZUBACA ZUPČANIKA NAVARIVANJEM

*Nikola Radovanović<sup>1</sup>, Svetislav Marković<sup>2</sup>*

*[nikolaradovanovic1996@gmail.com](mailto:nikolaradovanovic1996@gmail.com), [svetislav.markovic@vstss.com](mailto:svetislav.markovic@vstss.com)*

## **REZIME**

Regeneracijom zupčanika moraju se obezbediti nazivne mere, pravilan geometrijski oblik i kinematske karakteristike, zatim propisan kvalitet hrapavosti obrađenih površina, očuvanje osnovnih mehaničkih karakteristika materijala i pogonske čvrstoće, što direktno utiče na pouzdanost i vek trajanja prenosnika. Regeneracija zubaca se najčešće izvodi: postavljanjem umetaka u obliku zupca ili drugih oblika sa dodatnom mašinskom obradom, pomoću dodataka, elektrolučnim navarivanjem, navarivanjem pomoću šablona, postavljanjem novog zupčastog venca i dopunskim korigovanjem zubaca. Površinsko ojačanje zubaca zupčanika može biti: mehaničko (valjanjem), termičko (kaljenjem) i termo-hemijsko (cementacijom, nitriranjem i slično). U radu je prikazan postupak regeneracije zupčanika kod koga su u toku eksploatacije polomljeni zupci. Reparturnim navarivanjem oštećenom zupčaniku su obnovljene geometrijske karakteristike, propisane tolerancije i odstupanja i kvalitet obrade površina, koje potpuno odgovaraju propisanim i standardizovanim vrednostima novoizrađenih zupčanika.

**Ključne reči:** zupčanik, lom zubaca, regeneracija, navarivanje

## **BUILD UP WELDING OF THE BROKEN GEAR WHEEL TOOTH**

### **ABSTRACT**

In the regeneration of the wheel tooth one has to define the rated measure, accurate geometric shape and kinematic characteristics, followed by the formal quality of the roughness of the treated surface, the perseverance of the basic mechanical characteristics of the material and the starting firmness, which directly affects the reliability and the duration of the transmitter. The regeneration of the wheel tooth is usually done as followed: setting the padding in the shape of the wheel tooth or other shape followed by further machine treatment with the use of the additional items, arc welding, welding with the use of a pattern, by setting the dented belt and additional correction of the wheel tool. The surface strenghtening can be: mechanical (welded), thermal (calcination) and thermo-chemical (cementation, nitration etc). The regeneration of the gear wheel tooth in which the wheel teeth have been broken in the working process is the main topic of this thesis. Build up welding of the broken gear wheel tooth provides the reparation of its geometrical characteristics, the proposed tollerance and deviations and the quality of the processing of the surface that completely correspond to the proposed and standardised values of newly made wheel teeth.

**Key words:** wheel tooth, the breakage of the wheel tooth, regeneration, build up welding

---

<sup>1</sup> *Goša montaža, Smederevska Palanka*

## 1. UVOD

Zupčanici spadaju u grupu mašinskih elemenata sa najširoom primenom u mašinstvu. Namenjeni su, pre svega, za prenos snage i obrtnog momenta, ali i obezbeđenje ravnomernog kružnog kretanja. Od njihove otpornosti na habanje i čvrstoće u znatnoj meri zavise vek trajanja i pouzdanost mehanizama, mašina i mašinskih sistema. Karakterišu ih: izuzetno složen geometrijski oblik radnih površina, izrada od različitih materijala (uglavnom metala, ali i nemetala), sa raznim geometrijskim oblicima i dimenzijama, različitim metodima izrade, rade u raznovrsnim eksploatacionim režimima i drugo. Sve ovo navodi na zaključak da je regeneracija zupčanika dosta kompleksna [3].

Mašinski elementi, posebno zupčanici, su u toku eksploatacije izloženi promenljivim uslovima rada koji za posledicu imaju povećano trenje i habanje radnih površina, oštećenja u vidu loma i druga, koja dovode do smanjenja pouzdanosti mašinskih sistema i konačno do njihovog otkaza. Kako zupčanici obezbeđuju prenos obrtnog momenta, ravnomernost kretanja i visok stepen korisnog dejstva, to su pouzdanost i vek trajanja, kao i međuremontni period mašinskog sistema određeni upravo eksploatacionom sposobnošću zupčanika. Pohabanost ili lom zubaca direktno utiču na radnu sposobnost zupčastih prenosnika i ukupnog mašinskog sistema.

Imajući u vidu ogromnu zastupljenost zupčanika u mašinskoj industriji može se pretpostaviti koliki su gubici prouzrokovani odbacivanjem oštećenih zupčanika, koji se mogu primenom različitih postupaka regeneracije veoma uspešno vratiti u eksploataciju.

Sa druge strane, zupčanici predstavljaju mašinske delove koji se najređe regenerišu. Svedoci smo ekspanzije postupaka regeneracije mašinskih delova. Novi metodi, načini i postupci regeneracije, kao i sve savremenija oprema za njihovo izvođenje u svetskoj industriji se veoma brzo razvijaju. Međutim, regeneracija zupčanika se izbegava. Razloga za to ima više, ali su primarni: izrada zupčanika od uslovno zavarljivih materijala, veoma složena konfiguracija (geometrija) zupčastog venca, tehnološka ograničenost regeneracije zupčanika manjih modula ( $m < 5 \text{ mm}$ ), manja ekonomska ušteda nego pri regeneraciji drugih – jednostavnijih mašinskih delova.

Usavršavanje procesa regeneracije zupčanika, razrada novih visokoproduktivnih i ekonomičnih postupaka navarivanja, povećanje pouzdanosti i trajnosti regenerisanih zupčanika, kao i metoda i načina njihove kontrole i ispitivanja su cilj izrade ovog rada, ali i pitanja od šireg tehno-ekonomskog značaja.

Postupci regeneracije imaju primenu u mnogim granama tehnike, ali i medicini, stomatologiji, poljoprivredi, rudarstvu, saobraćaju, građevini, tekstilnoj i kožarskoj industriji i gotovo svim oblastima ljudskog interesovanja i delovanja. Može se sa sigurnošću reći da nema grane tehnike u kojoj regeneracija nije našla svoje mesto: u mašinskoj industriji se može regenerisati većina mašinskih sistema i njihovi sastavni delovi (svi osim 100% zamenljivih i onih čija regeneracija je tehnički neizvodljiva ili ekonomski neisplativa); restauracija i obnavljanje zgrada u

građevinarstvu su poznati i veoma cenjeni radovi; reciklaža različitih materija ima zapaženo mesto u hemijskoj industriji; obnavljanje knjiga, pre svega raritetnih izdanja, jedan je od čestih poslova u grafičkoj industriji; u gumarskoj industriji ogromnu primenu imaju protektiranje, vulkaniziranje i krpljenje pneumatika, a to su možda i najčešće regeneracijske operacije uopšte...

Na vitalnim elementima mašina i mehanizama u toku eksploatacije nastaju različita oštećenja (pohabanost radnih površina, mehanička oštećenja, deformacije oblika i dimenzija elemenata, prsline, proboji, lomovi i slično). Mnogi od oštećenih elemenata se mogu uspešno i pouzdano regenerisati. Kvalitetno regenerisan, kontrolisan i ispitani mašinski element može sigurno vršiti svoju funkciju u mašini ili mehanizmu. Mašinski sistem remontovan pomoću tako regenerisanih rezervnih delova mora imati pouzdan rad pri eksploataciji. Prema tome, regeneraciji oštećenih mašinskih elemenata savremenih mašina i mehanizama, u današnjim uslovima, mora se dati veliki značaj.

Sama regeneracija predstavlja usku oblast veoma širokog područja održavanja mehanizama i mašina – terotehnologije. Pod regeneracijom pohabanih mašinskih elemenata podrazumeva se takav redosled operacija, koji ima za cilj povratak izgubljenih pokazatelja radne sposobnosti mašinskog elementa. Tehnološki proces regeneracije mašinskog elementa mora obezbediti obnavljanje pohabanog dela mašinskog elementa na nazivne mere i zahtevani kvalitet površine. Pored toga, mora se postići obnavljanje pravilnog geometrijskog oblika mašinskog elementa, očuvanje i, po mogućstvu, poboljšanje osnovnih eksploatacionih karakteristika materijala regenerisanog elementa, njegova funkcionalnost, sigurnost i pouzdanost u radu, kao i vek trajanja sličan novom. Inače, reč regeneracija potiče od latinske reči *regeneratio* što znači ponovno stvaranje i razvijanje uništenih ili izgubljenih delova, obnavljanje, preporod, ponovno uspostavljanje. U praksi se ovaj termin često menja rečju reparacija, koja potiče od latinske reči *reparatio*, a ima slično značenje: opravka, popravka, ponovno uspostavljanje, obnavljanje. [4]

## **2. OŠTEĆENJA I REGENERACIJA ZUPČANIKA**

Zupčanci su visokopouzdati mašinski elementi namenjeni za prenos snage i obrtnog kretanja. Po pravilu, zupčanci opterećeni nižim nivoom opterećenja izrađuju se od čelika za poboljšanje, dok se visokoopterećeni zupčanci izrađuju od čelika koji se ojačavaju postupcima hemijsko-termičke obrade (cementacija, karbonitriranje, nitriranje) ili površinskim kaljenjem. Naravno, zupčanci se izrađuju i od raznih vrsta livenog gvožđa, obojenih metala, plastičnih masa. Ali, to su specifični, ređi primeri.

Statistički podaci pokazuju [2] da su kod zupčastih prenosnika snage izašlih iz pogona oštećenja zupčanika zastupljena sa 60%, ležajeva sa 20%, dok oštećenjima svih ostalih delova prenosnika pripada 20%. To je i osnovni razlog što veći broj istraživača posebnu pažnju posvećuje pojavama oštećenja i razaranja zubaca zupčanika, njihovog karaktera, uzroka nastajanja i mogućnosti eliminisanja tih uzroka. Znatno manji broj se bavi proučavanjem mogućnosti sanacije tih oštećenja, odnosno produžavanju veka trajanja zupčanika i povećanju njihove sigurnosti i pouzdanosti u eksploataciji.

Zupčanici opterećenja prenose preko zubaca, odnosno aktivnih delova njihovih bokova. Prenos opterećenja je praćen relativnim kretanjem pogonskih i gonjenih zubaca uz međusobno klizanje i kotrljanje. Na taj način na bokovima zubaca se javlja naprezanje površinskih slojeva izazvano kontaktnim (Hercovim) pritiscima uz istovremeno klizanje bokova zubaca. Pri tome se u podnožju zubaca javlja naprezanje na savijanje.

Na zupčanicima u toku eksploatacije nastaju raznovrsna oštećenja venca i tela, kao što su: pohabanost radnih površina, mehanička oštećenja, deformacije oblika i dimenzija, prsline, lomovi i druga. Većina zupčanika izašlih iz eksploatacije može se uspešno i pouzdano regenerisati.

Primarni vid oštećenja zubaca zupčanika je habanje radnih površina njihovih bokova, koje se najčešće manifestuje kao zamorno habanje – piting ili kao abrazivno habanje. Osnovni mehanizmi habanja su: habanje usled zamora materijala, adhezija usled klizanja i abrazija zbog prisustva tvrdih čestica u zoni habanja (zamorno, adheziono, abrazivno i tribohemijsko habanje).

Izučavanje osnovnih vidova i uzroka razaranja zupčanika pokazalo je da iz pogona mnogo češće ispadaju pogonski zupčanici nego gonjeni. Obično su u mašinama lomu izložena dva-tri para zupčanika, koji su i po proračunu „slabi članovi” mašinskog sistema.

U remontnoj praksi zupčanici predstavljaju mašinske elemente koji se najređe regenerišu. Razloga za to je više, ali primarno je to da su složene geometrije i izrađuju se od specifičnih materijala. Veoma složena konfiguracija zupčastog venca često predstavlja teško rešiv problem tehnolozima regeneracije jer je, pre svega, potrebno odrediti tačne geometrijske parametre (modul, ugao nagiba profila zubaca, ugao nagiba bokova, faktor korekcije), što posebno dolazi do izražaja kada na regeneraciju dođe oštećen zupčanik bez drugog – s njim spregnutog. Pored toga, sam oblik i veličina zubaca otežavaju primenu mnogih regenerativnih metoda. Materijali od kojih se izrađuju zupčanici su najčešće uslovno zavarljivi. Spora i skupa mašinska obrada navarivanjem regenerisanih radnih površina zubaca dovodi u pitanje ekonomsku opravdanost primenjenog postupka.

Regeneracija zupčanika obuhvata otkrivanje njihovih oštećenja, uzroka i karaktera istih, primenu najracionalnijeg i najpouzdanijeg metoda regeneracije i metoda ojačanja radnih površina zubaca, kao i završnu kontrolu i ispitivanje regenerisanih zupčanika.

Pod regeneracijom oštećenih zupčanika podrazumeva se takav redosled tehnoloških operacija, koji ima za cilj povratak njihovih izgubljenih radnih karakteristika. Regeneracijom se moraju obezbediti nazivne mere i zahtevani kvalitet obrade površina, kao i pravilan geometrijski oblik i očuvanje (ili čak poboljšanje) osnovnih mehaničkih karakteristika materijala regenerisanog zupčanika. Da bi se sve ovo uspešno ostvarilo neophodno je dobro poznavanje: uzroka koji izazivaju oštećenja, karakteristika nastalih oštećenja i njihovih dimenzija, metoda za utvrđivanje oštećenja, opreme za regeneraciju, osnovnih tehnoloških i fizičko-mehaničkih karakteristika metalnih slojeva koji se nanose na oštećene površine, postupaka i režima obrade, geometrijskih, kinematskih i

eksploatacionih karakteristika zupčanika i prenosnika kojima pripadaju i drugih parametara.

Osnovni vidovi razaranja i oštećenja venca zupčanika, u zavisnosti od uslova u kojima rade zupčanici, njihovih konstruktivnih i tehnoloških parametara, mogu biti [3 i 5]:

- lom zubaca,
- zamorno habanje - piting radnih površina zubaca,
- abrazivno habanje,
- zadiranje (zaribavanje),
- zajedanje,
- plastično deformisanje površinskih slojeva materijala,
- oštećenja čela zubaca.

Treba istaći da su industrijski razvijenije zemlje u svoje standarde unele nomenklaturu mogućih oštećenja zubaca zupčanika. Tako je američki standard AGMA klasifikovao 21 oštećenje [5], podeljeno u tri osnovne grupe, što je prikazano u tabeli 1. Za sva oštećenja su date karakteristične ilustracije i kratki komentari.

*Tabela 1. Nomenklatura vrsta oštećenja zubaca zupčanika prema AGMA standardu*

<b>Oštećenja zubaca zupčanika</b>		
<b>Habanje</b>	<b>Plastično tečenje</b>	<b>Lom</b>
✓ Normalno habanje (poliranje)	✓ Valjanje i ojačanje	✓ Zamorni lom
✓ Umereno habanje	✓ Talasanje	✓ Lom usled prevelikog habanja
✓ Razorno habanje	✓ Obrazovanje grebena (brazdanje)	✓ Lom usled preopterećenja
✓ Abrazivno habanje		✓ Kaljena prslina
✓ Skraćing (scratching)		✓ Prsline usled brušenja
✓ Skoring (scoring)		
✓ Podsecanje zubaca		
✓ Koroziono habanje		
✓ Ljuspanje		
✓ Pregrevanje		
✓ Inicijalni piting		
✓ Razorni piting		
✓ Spaling (spalling)		

Nemački standard DIN 3979 iz jula 1979. godine klasifikuje 25 različitih vrsta oštećenja zubaca zupčanika, što je prikazano u tabeli 2. Svako od oštećenja je predstavljeno fotografijom (pojedina i sa više različitih snimaka), a date su i osnovne karakteristike i uzroci nastanka.

Tabela 2. Vrste oštećenja zubaca zupčanika prema DIN 3979

Oštećenja zubaca zupčanika	<b>Habanje</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Normalno habanje</li> <li>• Brusno habanje (abrazivno)</li> <li>• Habanje usled neispravnog sprezanja (interference)</li> <li>• Ogrebotine (skraćing)</li> <li>• Zajedanje (skoring)</li> </ul>
	<b>Korozija (koroziiono habanje)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Hemijska korozija (rđanje)</li> <li>▪ Freting koroziiono habanje</li> <li>▪ Ljuspanje (skaling)</li> <li>▪ Pregrevanje</li> </ul>
	<b>Erozija</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Kavitacija</li> </ul>
	<b>Varničenje</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Oštećenja usled indukovane struje</li> </ul>
	<b>Zamor boka zupca</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Jamice (inicijalni i destruktivni piting)</li> <li>✓ Pore (fino ljuštenje)</li> <li>✓ Otkidanje</li> <li>✓ Listanje</li> </ul>
	<b>Deformisanje</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Utiskivanje</li> <li>❖ Brazdanje</li> <li>❖ Deformisanje valjanjem i pritiskom</li> <li>❖ Toplo tečenje</li> </ul>
	<b>Risevi na zupcima</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Tvrdi risevi</li> <li>➤ Risevi od obrade</li> <li>➤ Risevi od brušenja</li> <li>➤ Trajne prsline</li> </ul>
	<b>Lom zubaca</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>□ Statički (nasilni) lom</li> <li>□ Zamorni lom</li> </ul>

Opšti tehnološki proces regeneracije oštećenih zupčanika je u potpunoj saglasnosti sa tehnološkim procesom regeneracije mašinskih elemenata. U osnovi tehnološki proces regeneracije zupčanika čine sledeće operacije:

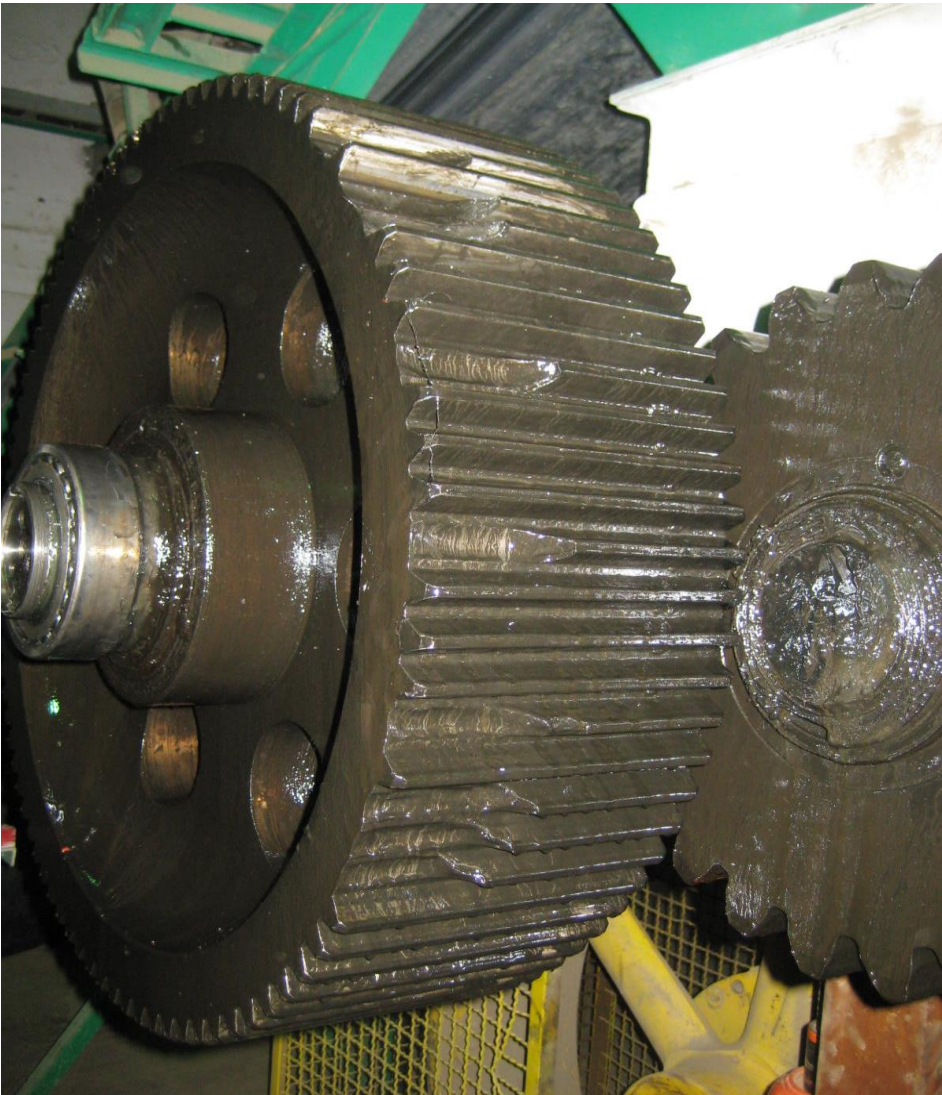
- čišćenje, pranje i odmašćivanje zupčanika,
- identifikacija vrste, veličine, karaktera i položaja oštećenja (defektacija),
- klasifikacija zupčanika na osnovu komparacije rezultata defektacije i zahteva iz tehničke dokumentacije, na: ispravne zupčanike, zupčanike predviđene za regeneraciju i zupčanike za odbacivanje (škart),
- izbor optimalnog metoda regeneracije,
- izrada tehnološkog postupka regeneracije,
- priprema za regeneraciju,
- izvođenje propisanog postupka regeneracije,
- mašinska obrada regenerisanih površina,
- izvođenje postupka ojačanja radnih delova zubaca i drugih funkcionalnih površina,

- ❑ završna mašinska obrada - brušenje,
- ❑ završna kontrola i ispitivanje regenerisanog zupčanika.

### **3. REPARATURNO NAVARIVANJE OŠTEĆENOG ZUPČANIKA**

Zupčanik prikazan na slici 1, koji se koristi u dvoosovinskoj mešalici za pripremu zemlje za ciglu, oštećen je usled nepažnje rukovaoca. U reduktor mešalice su dospela strana tela koja su dovela do oštećenja, tačnije do delimičnog loma zubaca zupčanika.

Vizuelnom kontrolom je ustanovljeno da je došlo do delimičnog oštećenja devet zubaca.



*Slika 5.2. Oštećen zupčanik*

Na osnovu analize kvatrometrom i podataka koje je prosledio vlasnik zupčanika može se reći da je zupčanik od materijala Č 3230, zatezne čvrstoće 100 MPa i tvrdoće 45 HRC. Geometrijske karakteristike zupčanika su:

- broj zubaca:  $z=87$ ,
- modul:  $m=8$  mm,
- temeni prečnik zupčanika:  $d_k=712$  mm,
- podeoni prečnik zupčanika:  $d_0=696$  mm,
- podnožni prečnik zupčanika:  $d_f=676,8$  mm,
- širina zupčanika:  $b=200$  mm,
- ugao profila zubca  $20^\circ$ ,
- mera preko zubaca  $W_{11}=257,73$  mm,
- broj zubaca spregnutog zupčanika je 17.

Na osnovu toga je doneta odluka o postupku regeneracije. Izabran je postupak navarivanja sa dve elektrode: UTP 65 i E-DUR 300.

Prvi korak u procesu regeneracije je čišćenje zupčanika, koje se izvodi sa benzinom i razređivačem.

Radi lakšeg izvođenjanja radova pristupa se izradi pristroja (stalka-nosača) koji će omogućiti lakši i pristupačniji rad. Posle izvedenog odmašćivanja površina zubaca pristupa se ručnom brušenju napuklina koje su nastale usled loma zubaca. To se izvodi tako što se ručnom brusilicom uklanjaju slojevi u tom području sve dok je okom uočljiva naprslina.

Nakon brušenja pristupa se penetrantskoj kontroli. To je ispitivanje prisustva površinskih grešaka. Po ispitivanom delu prosipa se tečnost koja ima jako veliku sposobnost prodiranja (penetracije) u vrlo uske zazoru do 0,01 mm i da je lako apsorbovana od strane razvijaača. Zatim se višak tečnosti ukloni sa površine, na koju se nanosi razvijaač (prah) da izvuče zarobljeni penetrant iz diskontinuiteta. Vizuelni pregled je najvažniji u ovom postupku.

Penetrantni koji su u upotrebi sadrže fluorescentnu komponentu, tako da se kontrola vrši pomoću UV lampe čime je povećana vidljivost mogućih naprslina. Ako je potrebno ponovo se vrši brušenje.

Sledeći korak je priprema za navarivanje, odnosno predgrevanje koje se vrši butanskim bocama. Zagreva se ceo zupčanik na temperaturu od 250 do 300°C.

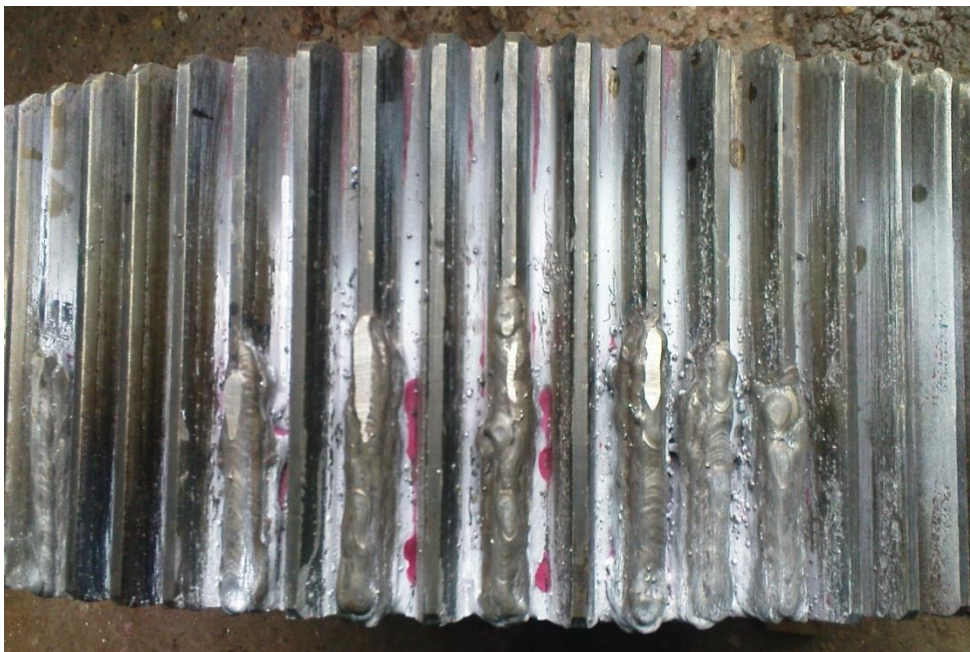
Kada se dostigne željena temperatura kreće se sa ručnim elektrolučnim navarivanjem (REL). Elektrode koje se koriste za ovo navarivanje pre samog postupka moraju proći kroz određenu fazu sušenja. Elektrode se suše u specijalnim pećnicama koje za tu namenu isporučuje proizvođač samih elektroda. Temperatura zagrevanja elektroda je 250-300°C, a ceo proces se izvodi dva časa pre početka navarivanja.

Postupak navarivanja je E 111, to jest ručno elektrolučno navarivanje sa obloženom elektrodom, koja ima polje primene kod nelegiranih, niskolegiranih i finoznih visoko vrednih čelika.

Navarivanje se vrši tako da se ruka varioca kreće u smeru od sredine ka spoljašnosti zupca u više slojeva. Prvi sloj se nanosi elektrodom UTP 65

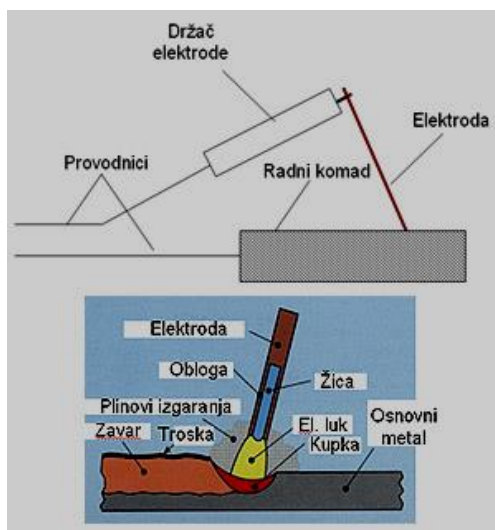


(austenitna-feritna univerzalna elektroda) nemačke proizvodnje, a drugi elektrodom za tvrdo navarivanje E-DUR 300 slovenačke izrade.



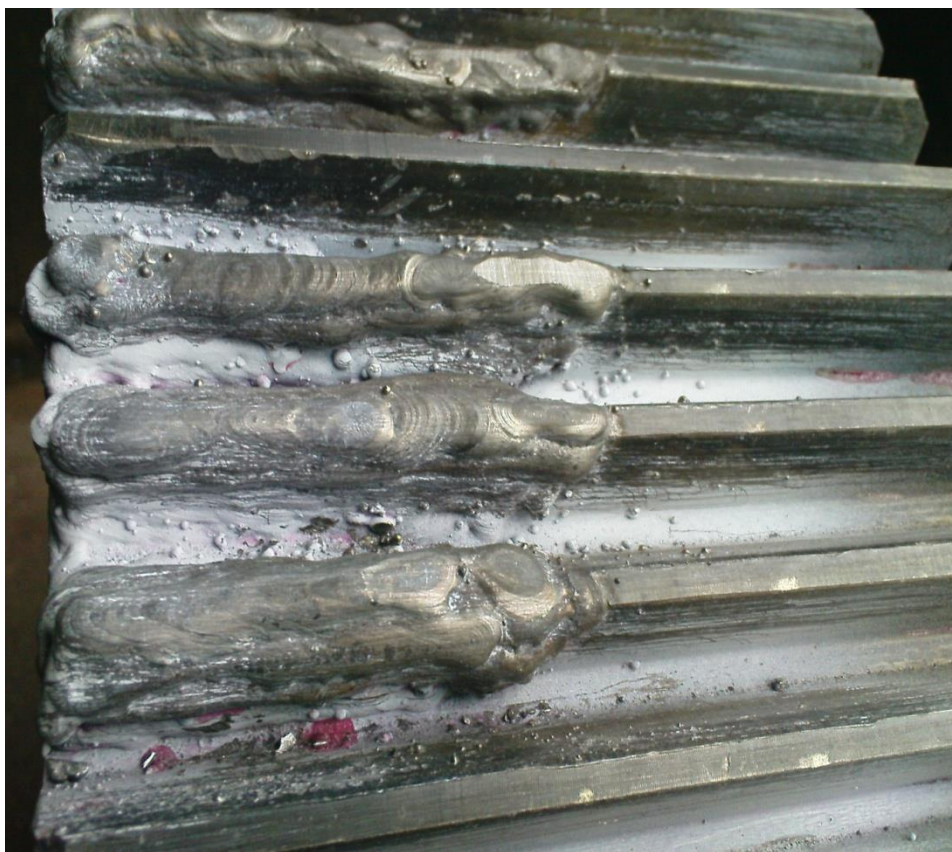
*Slika 2. Navari ostvoreni elektrodom E DUR 300*

Navarivanje se vrši naizmenično jednom pa drugom elektrodom, pri početnoj amperaži od 100-120 A, a što varioac određuje na licu mesta.



*Slika 3. Šema navarivanja*

Što se navar bliži zadatom vrhu novog zupca amperaža se smanjuje, naravno po proceni varioca. Dok izvodi zavarivanje varioc prati kroz masku tek nanešen sloj vara i kontroliše da li dolazi do neželjenih deformacija u samom varu. Posle svakog nanešenog sloja obija se šljaka i čeličnom četkom se očisti navar, za to vreme se i var malo ohladi i na materijal se može nanositi sledeći navar. Pri samom vrhu novog zupca nanosi se var elektrodom E DUR 400 da bi se postigla veća tvrdoća, a time i otpornost na habanje.



*Slika 4. Navareni zupci zupčanika*

U toku čitavog postupka navarivanja ceo zupčanik se dogreva na već pomenutu temperaturu. Cilj tog dogrevanja je sprečavanje promene strukture materijala zupčanika.

Po završenom postupku navarivanja ceo zupčanik se umotava u keramičko i azotno platno da bi se osiguralo što sporije hlađenje.

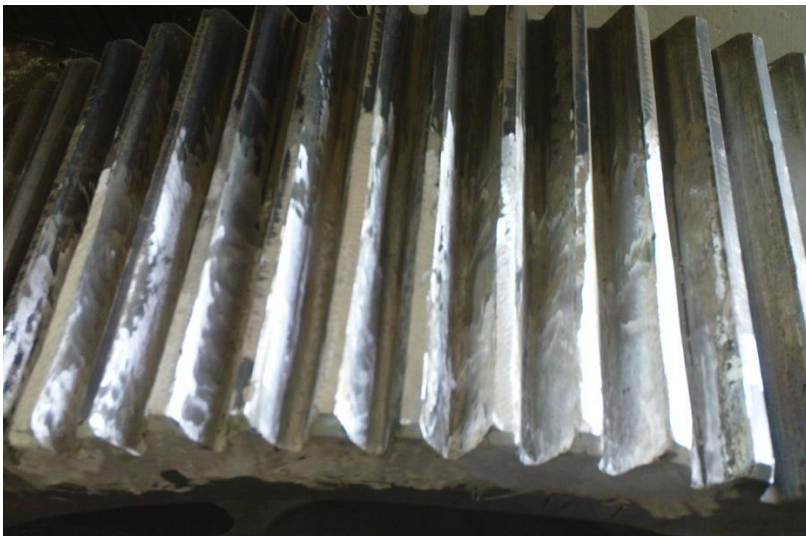
Kada se zupčanik ohladi pristupa se brušenju navarenih delova da bi otklonili višak navarenih slojeva. Ovaj postupak se vrši iz dva koraka. Prvi korak je brušenje brusnom pločom za metal. Tako se zubac zupčanika svodi na približan oblik.



*Slika 5. Brušenje zubaca zupčanika*

U drugom koraku pristupa se finom brušenju (poliranju). Fino brušenje se izvodi lamelastim brusnim diskovima. Kontrola u toku finog brušenja se vrši lenjirom koji se prevlači preko obrušenih slojeva. Na taj način se mogu uočiti fine neravnine i naravno ukloniti brušenjem lamelastim brusnim diskom.

Kada se obrusi navareni zubac ponovo pristupamo penetrantskoj kontroli da bi bile otklonjene mogućnosti grešaka u navarenom sloju. Ako su greške površinske vrši se navarivanje na hladno. Ako su dubinske, postupak se ponavlja.



*Slika 6. Zupčanik posle reparature*

Kontrola izvršenih radova se vrši češljem. Češalj se pravi od aluminijuma tako da opisuje tačan profil dva susedna neoštećena zupca. Prevlačenjem češlja uzdužno po ispravnom zupcu i praćenjem neravnina vrši se kontrola regenerisanog zupca.

#### 4. ZAKLJUČAK

Analizom rezultata dobijenih ispitivanjem zupčanika regenerisanog reparaturnim navarivanjem moguće je izvesti sledeće zaključke:

- geometrijske karakteristike, propisane tolerancije i odstupanja, kao i kvalitet obrade površina regenerisanog zupčanika potpuno odgovaraju propisanim i standardizovanim vrednostima novoizrađenih zupčanika;
- zahtevane mehaničke karakteristike, pre svega površinska tvrdoća, lako se postižu primenom odgovarajućih dodatnih materijala i termičke obrade pre i posle navarivanja;
- poboljšanje svih mehaničkih karakteristika regenerisanog zupčanika moguće je ostvariti pažljivom i dobro organizovanom pripremom za navarivanje, izborom adekvatnih dodatnih materijala i režima navarivanja, striktnim pridržavanjem propisanih režima rada, kao i tačno definisanim i pažljivo izvedenim postupcima termičke obrade radnih površina zubaca.

#### 5. LITERATURA

1. Genkin M. D., Rižov M. A., Rižov N. M.: *Povišenje nadjožnosti tjaželo-nagruženih zubčatih peredač*, „Mašinstroenie“, Moskva, 1981.
2. Marković S., Josifović D.: *Regeneracija zupčanika*, monografija, Jugoslovensko društvo za tribologiju, Kragujevac, 1998.
3. Marković S.: *Regeneracija mašinskih delova i elemenata*, Visoka škola tehničkih strukovnih studija, Edicija „Akademija“, 60, Čačak, 2017.
4. Petrov J. N. i dr.: *Osnovi remonta mašin*, „Kolos“, Moskva, 1972.
5. Tanasijević S.: *Osnovi tribologije mašinskih elemenata*, „Naučna knjiga“, Beograd, 1989.

Kandidat

Radovanović Nikola

Broj indeksa: 119/19

Mentor

dr. Svetislav Marković