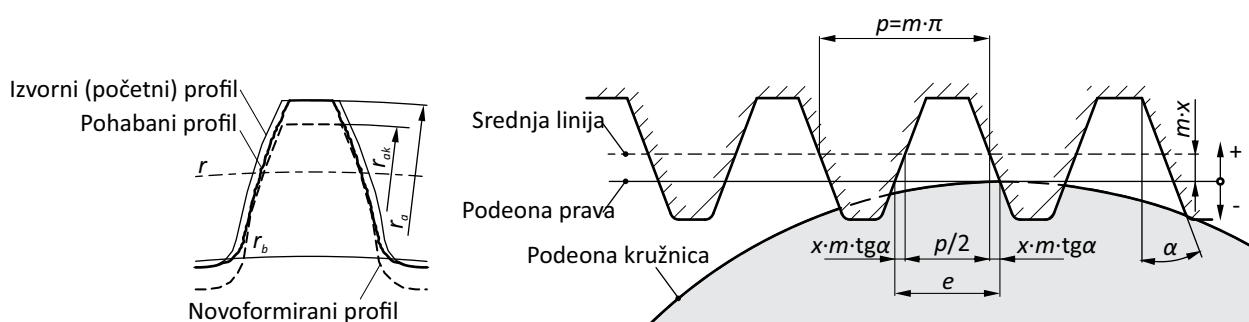


Reparacija zupčastih parova

Reparacija površinskih oštećenja zubaca

Metoda korekcije profila spregnutih zubaca

Ako spregnuti zupčanici rade sa promenljivim smerom obrtanja ili tela zupčanika nisu simetrična ili je njihova modifikacija nemoguća, tada se metoda zaokretanja spregnutih zupčanika za 180° ne može primeniti. Takođe, ova metoda se ne može primeniti ako se proračunom pokaže da će radni vek repariranog zupčastog para biti veoma kratak. U tom slučaju treba ispitati mogućnost primene metode korekcije profila zubaca, Slika 1.



Slika 1 Metoda korekcije profila zubaca

Ova metoda se zasniva na skidanju oštećenog površinskog sloja sa bokova zubaca postupkom skidanja strugotine. Potrebno pomeranje alata (osnovne zupčaste letve) određuje se na osnovu izmerene dubine površinskog oštećenja:

$$m \cdot x_k = m \cdot x \frac{\delta}{\operatorname{tg} \alpha},$$

gde su:

- m – modul zupčanika,
- x – koeficijent pomeranja izvornog profila,
- x_k – koeficijent pomeranja novoformiranog profila,
- δ – dubina površinskog oštećenja bokova zubaca,
- α – ugao nagiba profila alata (najčešće $\alpha = 20^\circ$).

Da bi se sa novoformiranim profilima zubaca zadržala prvobitna (izvorna) vrednost bočnog zazora, neophodno je korigovati prvobitno (izvorno) osno rastojanje:

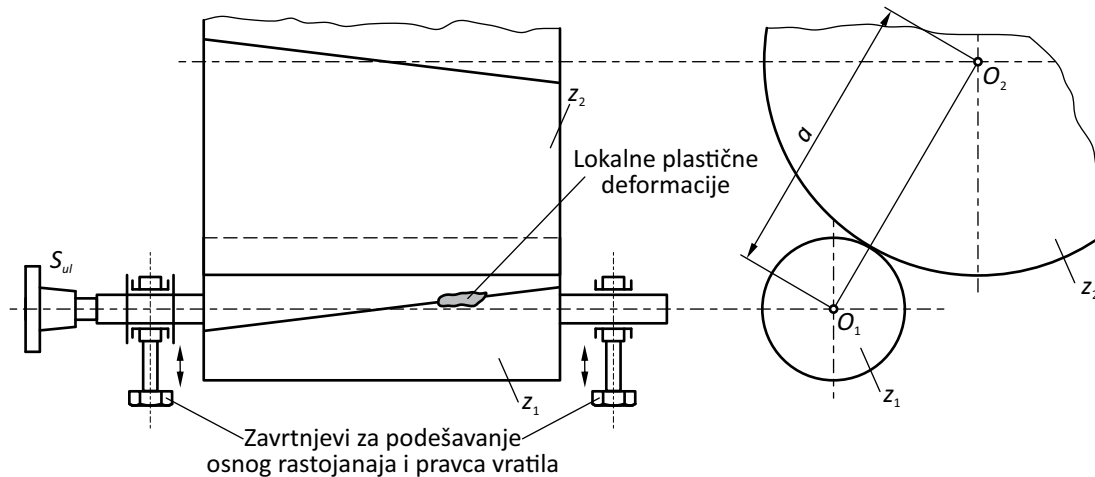
$$\Delta a = a \left(1 - \frac{\cos \alpha_w}{\cos \alpha_{wk}} \right),$$

gde je korigovani evolventni ugao dodirnice:

$$\operatorname{inv} \alpha_{wk} = 2 \frac{x_{1k} + x_{2k}}{z_1 + z_2} \operatorname{tg} \alpha + \operatorname{inv} \alpha$$

Treba napomenuti da se primenom ove metode, pored osnovog rastojanja, menjaju i ostali geometrijski i kinematski parametri zupčastog para (prečnici temenih kružnica, stepen sprezanja profila, lučna debljina zupca) pa je poželjno izvršiti detaljnu uporednu analizu parametara zupčastog para pre i nakon reparature.

Primena ove metode značajno je olakšana kod prenosioca kod kojih postoji mogućnost korekcije osnovog rastojanja, kao što je prikazano na primeru zupčastog para kugličnog mlina, Slika 2. Reparacija oštećenja metodom korekcije profila spregnutih zubaca na ovom zupčastom paru je bila moguća, jer je u konstrukciji sklopa reduktora bilo moguće menjati osno rastojanje spregnutog zupčastog para pomoću navojnog mehanizma.

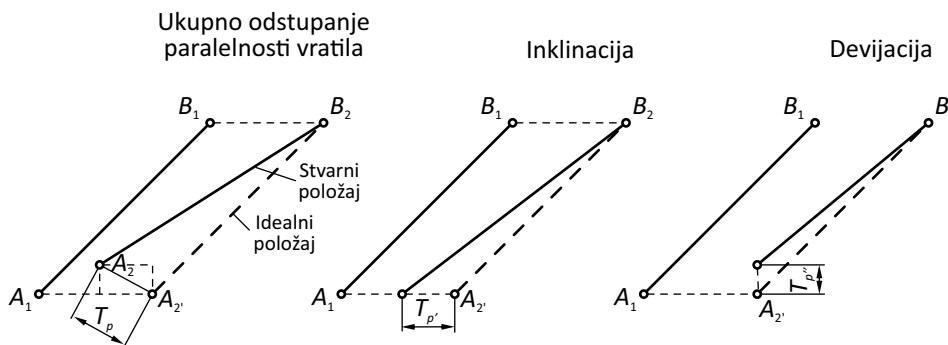


Slika 2 Korekcija osnovog rastojanja pomoću navojnog mehanizma

Za određivanje odstupanja međusobnog položaja-stepena paralelnosti osa obrtanja zupčanika, neophodno je definisati osnu ravan. Ona je određena osom jednog vratila, A1-B1 i jednom krajnjom tačkom drugog vratila, tačka B2 na Slici 3.

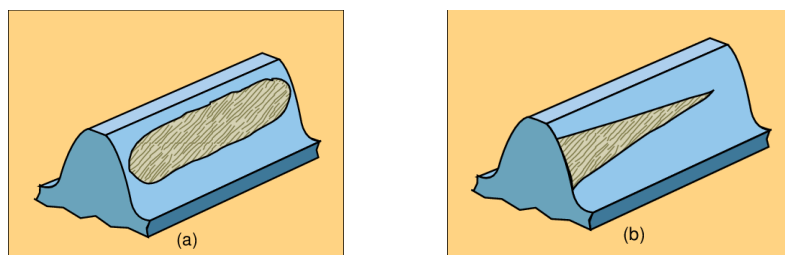
Ukupno odstupanje paralelnosti T_p sastoji se od dve komponente:

- odstupanje paralelnosti osa u osnoj ravni – inklinacija, $T_{p'}$
- odstupanje paralelnosti ose u odnosu na ravan upravnu na osnu ravan – devijacija $T_{p''}$.



Slika 3 Odstupanja osa vratila

Odstupanja devijacije osa obrtanja zupčanika imaju znatno veći uticaj na pravilno sprezanje zubaca od odstupanja inklinacije. Zato su propisana-dozvoljena odstupanja devijacije znatno manja (približno oko 50%) od dozvoljenih odstupanja inklinacije. Pomoću navojnog mehanizma moguće je podešavati pravac vratila na kojem se nalazi pogonski zupčanik, pomoću pomeranja tačaka A2 i B2. Podešavanje inklinacije i devijacije sprovodi se kako bi se dobila zadovoljavajuća slika nošenja, odnosno kako bi se obezbedilo da spregnuti zupčanici prenose opterećenja preko što veće dodirne površine bokova zubaca. Na Slici 4, prikazani su primeri sprezanja zubaca zupčastog para sa dobrom i lošom slikom nošenja.

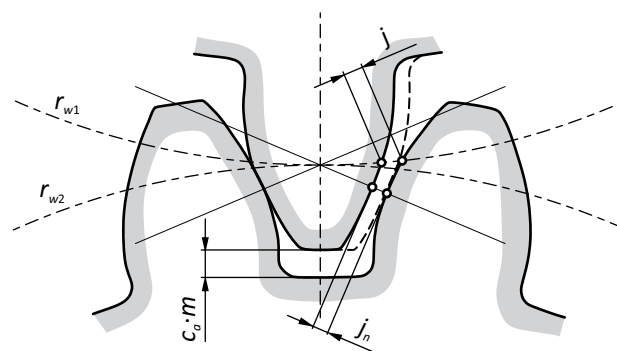


Slika 4 Primeri a) dobre i b) loše slike nošenja bokova zubaca

Ukoliko se zupčanci reparirani metodom korekcije profila ugrade u postojeće kućište bez korekcije osnovog rastojanja, pojaviće se povećani temeni i bočni zazori u zupčastom paru, Slika 5. U nekim slučajevima, kada su oštećenja mala (u skladu sa time i količina skinutog materijala je mala), je ovo povećanje zazora bez izrazitog uticaja na ispravan rad zupčastog para, te se zupčanci ostavljaju da rade sa povećanim zazorima.

U pogledu izbora veličine bočnog zazora treba imati u vidu sledeće:

- Mali bročni zazor dovodi do pojave šumova, zagrevanja i preopterećenja zubaca zupčanika i oslonaca vratila,
- Veliki bočni zazor propisuje se zupčastim parovima koji rade na povišenim temperaturama i u uslovima velikih elastičnih deformacija zubaca. Kod izrazito promenljivog radnog opterećenja i promenljivog smera obrtanja zupčanika, veliki bočni zazor generiše udarna opterećenja.
- Bočni zazor treba svesti na najmanju meru kod zupčastih parova mernih aparata, u cilju poništavanja praznog-mrtvog hoda pri promeni smera obrtanja.



Slika 5 Kružni (j) i normalni (j_n) bočni zazor

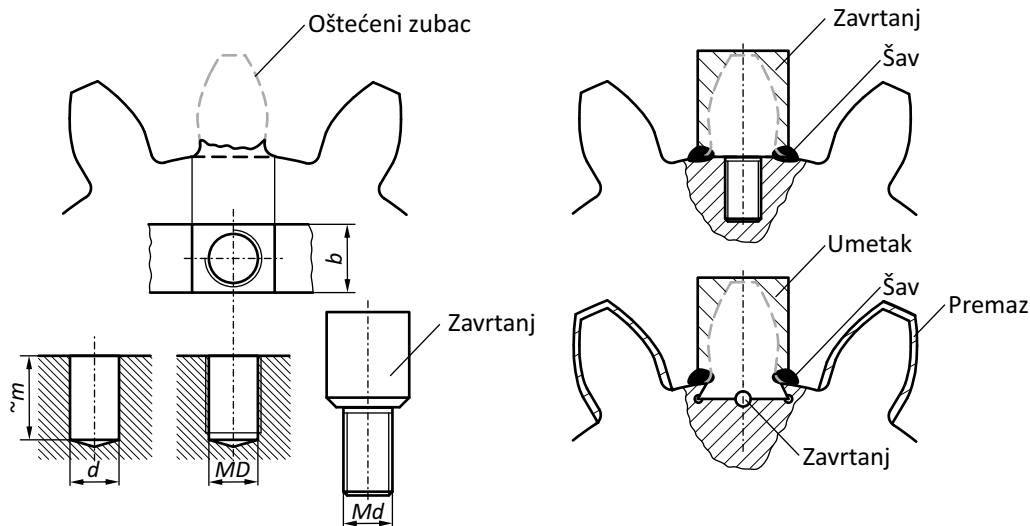
Reparacija zapreminskih i površinskih oštećenja zubaca

Metoda umetka

Primenjuje se kod niskobrzinskih zupčastih parova. To su parovi koji imaju male ugaone brzine i velike dimenzije. Primenjuju se kod rudarskih i građevinskih mašina. Podmazuju se mašću i obično rade na otvorenom prostoru. Lom zubaca zupčanika kod ovakvih zupčastih parova može se rešiti postavljanjem odgovarajućeg umetka na mestu polomljenog zupca zupčanika. Pri tome, umetak može imati konačni oblik zupca ili neki drugi oblik, koji se naknadnom mašinskom obradom dovodi u konačni oblik zupca.

Tehnološki postupak reparacije:

1. Otpuštanje slomljenog (oštećenog) mesta
2. Zaštita susednih zubaca od toplotnog uticaja (premazuju se vatrootpornim materijalom)
3. Izrada žleba u obliku lastinog repa ili bušenje rupe sa navojem
4. Učvršćivanje navojnim spojem ili nekim drugim postupkom (zavarivanjem)
5. Završna obrada



Slika 6 Reparacija zupčanika metodom umetka

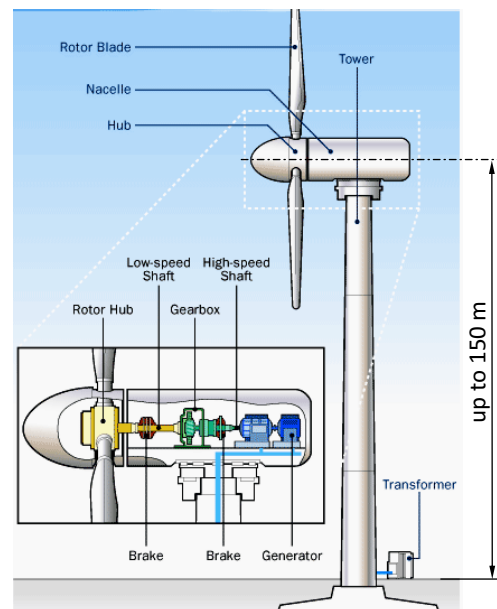
1. Primer mehaničkih metoda reparacije zubaca zupčanika vetrogeneratora¹

Ovo je prikaz metoda za servisiranje, popravku ili zamenu zapreminski i/ili površinski oštećenih ozubljenih komponenti vetrogeneratora. Prikaz je usmeren na metode reparacije „na licu mesta” za popravku ili servisiranje zupčanika za nagib elisa u sklopu glavčine.

Prva metoda (A) odnosi se na zamenu dela venca, niza oštećenih zubaca zupčanika sa unutrašnjim ozubljenjem – umetanjem i osiguranjem zavrtnjskim vezama i čivijama.

Druga metoda (B) je slična metodi A, samo što je osiguranje i montaža umetka ostvarena žlebom u vidu lastinog repa.

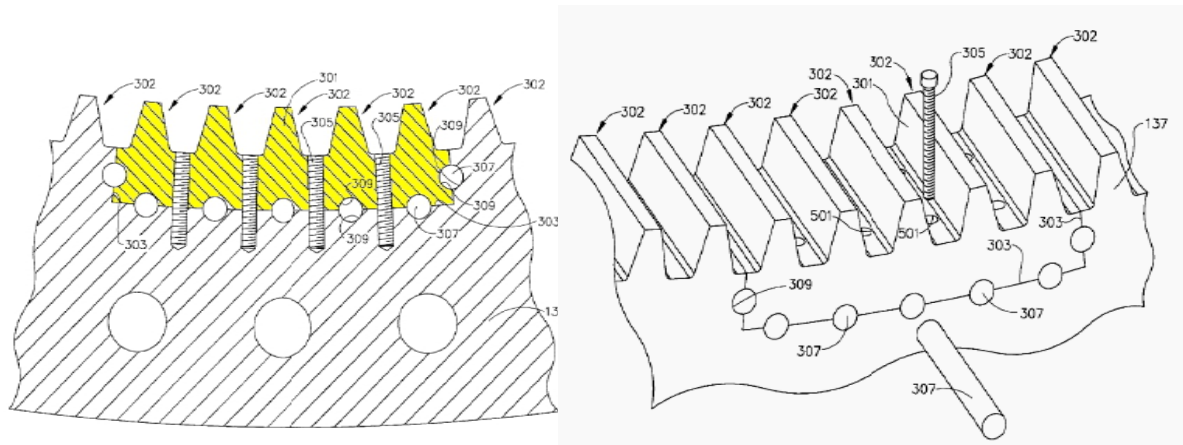
Treća metoda (V) se odnosi na reparaciju bokova pojedinačnih površinski oštećenih zubaca umetanjem pločice koja se pričvršćuje zavrtnjima.



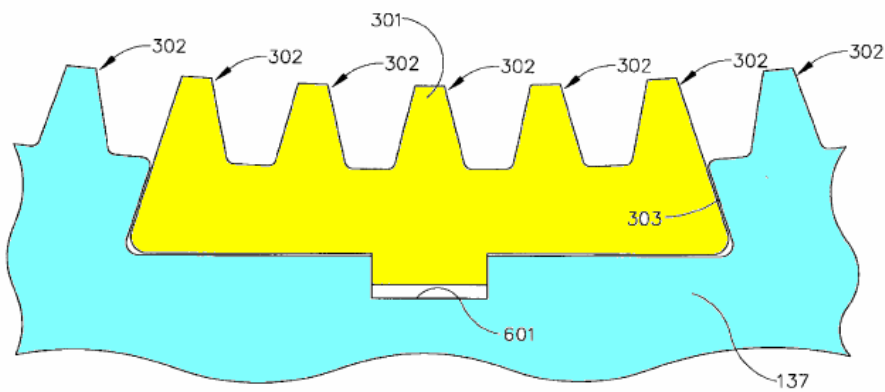
Slika 6 Šematski prikaz vetrogeneratora

¹HUB PITCH GEAR REPAIR METHOD – patent US 2009/0220343 A1, sept. 2009

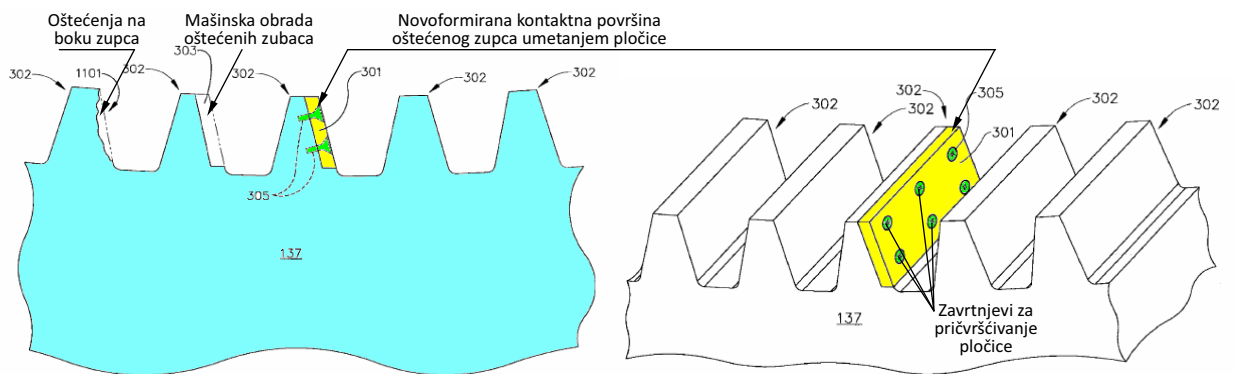
Prva metoda (A)



Druga metoda (B) – segment u obliku lastinog repa



Treća metoda (V)



2. Reparacija nekoliko oštećenih zubaca u nizu, umetanjem segmenta kod zupčanika sa pravim zupcima

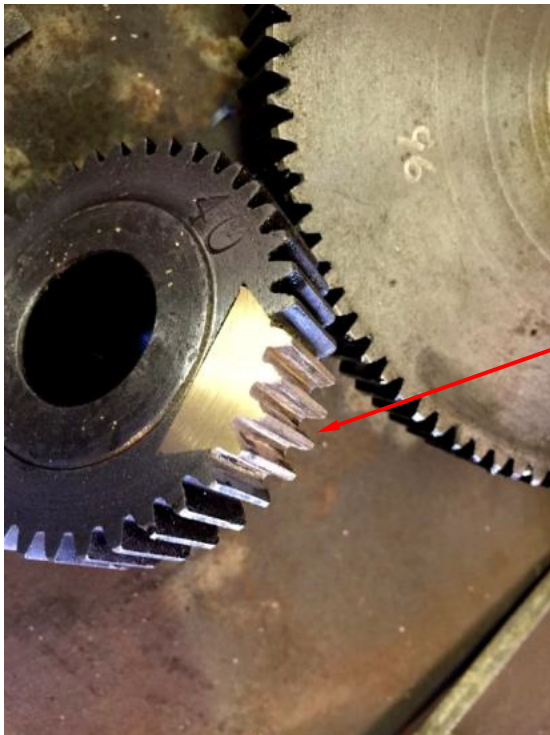
Umetanje novog segmenta



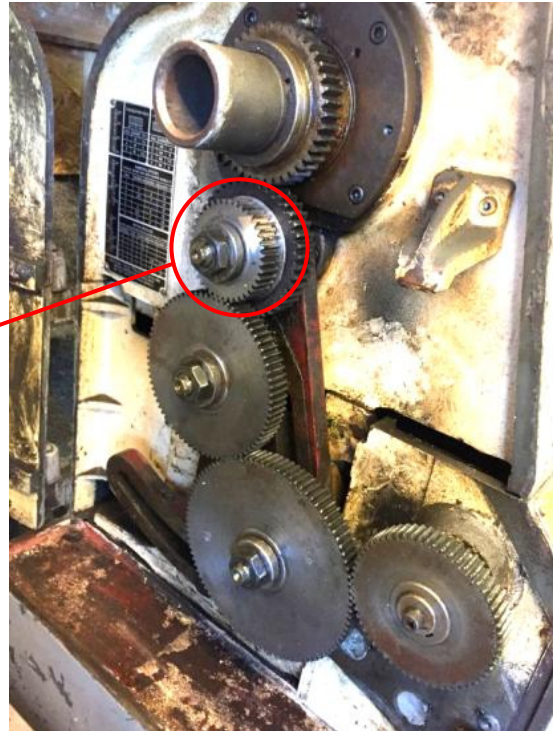
Narezivanje zubaca



Izgled repariranog zupčanika



Reparirani zupčani u eksploataciji



Korišćena literatura

1. Ristivojević M. (2021) **Reparacija mašinskih delova i konstrukcija**, izvodi sa predavanja;
2. Ristivojević M. (2013) **Reparatura – Imperativ u XXI veku**, Procesna tehnika;
3. Ristivojević M. (2009) **Reparatura u funkciji ekonomske, energetske i ekološke efikasnosti**, Mašinstvo 58;
4. Vaserman R. (2012) **Kako se štede milioni tehnikom reparaturnog zavarivanja**, Messer Tehnogas.
5. Ristivojević M. (2005) **Zupčanici 1– kinematika i kontrola**, Zavod za udžbenike i nastavna sredstva Beograd;
6. Marković S. (1994) **Regeneracija zupčastih i ožlebljenih sprega**, Vojnotehnički glasnik 2;
7. Albertini H. (2017) **Repair of large, surface-degraded industrial gears – a new approach**, Gear Technology;
8. Mayo P.A. (1987) **Gear Repair**, ASSCT;
9. TIMKEN (2016) **Using bearing repair to extend bearing life – for heavy industries**;
10. SKF (2018) **Remanufactured by SKF**;
11. FAG Industrial Services (2007) **Reconditioning and Repair of Rolling Bearings**;
12. Gostović N. (2007) **Reparatura turbinskog vratila A8 na HE Đerdap II**, Castolin Eutectic;