

Karakterizacija dijela upravljačkog sustava teretnog vozila

Bilonić, Marko

Undergraduate thesis / Završni rad

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:310253>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-25**

Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Prof. dr. sc. Suzana Jakovljević, dipl. ing.

Student:

Marko Bilonić

Zagreb, 2023

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se svojoj mentorici, prof. dr. sc. Suzani Jakovljević, dipl. ing. na susretljivosti i pomoći pri izradi ovog završnog rada.

Marko Bilonić

SADRŽAJ

1. UVOD	9
1.1. <i>Teretna vozila</i>	9
1.1.1. <i>Kategorije teretnih vozila</i>	11
1.2. <i>Sustavi unutar teretnog vozila</i>	11
1.3. <i>Upravljački sustav i njegovi dijelovi</i>	12
1.4. <i>Trošenje unutar upravljačkog sustava promatranog dijela</i>	14
1.5. <i>Prisutni mehanizmi trošenja unutar ozubljenja glave volana</i>	16
1.6. <i>Umor površine</i>	17
2. KARAKTERIZACIJA MATERIJALA	19
2.1. <i>Priprema uzorka</i>	19
2.1.1. <i>Podaci dobiveni XRF spektrometrijom</i>	21
2.2. <i>Svjetlosna mikroskopija</i>	22
2.3. <i>Određivanje tvrdoće</i>	24
2.3.1. <i>Podaci dobiveni mjerenjem tvrdoće</i>	25
2.3.2. <i>Određivanje efektivne dubine cementiranja</i>	27
3. ZAKLJUČAK	29
4. LITERATURA	30



Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa: 602 - 04 / 23 - 6 / 1	
Ur.broj: 15 - 1703 - 23 -	

ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Marko Bilonić**

JMBAG: **0035225861**

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Karakterizacija dijela upravljačkog sustava teretnog vozila**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Characterisation of the part of truck control system**

Opis zadatka:

Upravljački sustav vozila jedan je od važnijih elemenata aktivne sigurnosti vozila jer je njegova funkcija promjena i zadržavanje smjera kretanja vozila. Ispravnim upravljačkim sustavom i sustavom kočenja, kao i ostalim mehaničkim sklopovima, moguće je pravovremeno i ispravno reagirati tj. upravljati vozilom te time spriječiti nepoželjne situacije. U skladu s time neizbježno je njegovo pravodobno održavanje ovakvog sustava kao i sustava koji su povezni s njime.

U radu je potrebno:

- 1) opisati upravljački sustav teretnog vozila,
- 2) analizirati i opisati mehanizme trošenja koji se javljaju u kućištu glave upravljačkog sustava,
- 3) na izabranom primjeru karakterizirati mikrostrukturu materijala,
- 4) analizirati rezultate i dati zaključak.

U radu je potrebno navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:

30. 11. 2022.

Datum predaje rada:

1. rok: 20. 2. 2023.
2. rok (izvanredni): 10. 7. 2023.
3. rok: 18. 9. 2023.

Predviđeni datumi obrane:

1. rok: 27. 2. – 3. 3. 2023.
2. rok (izvanredni): 14. 7. 2023.
3. rok: 25. 9. – 29. 9. 2023.

Zadatak zadao:

Prof. dr. sc. Suzana Jakovljević

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Branko Bauer

POPIS SLIKA

Slika 1. Teretno vozilo s unutarnjim izgaranjem [2]

Slika 2. Električno teretno vozilo [3]

Slika 3. Upravljački sustav teretnog vozila [4]

Slika 4. Glava volana [6]

Slika 5. Prometna nesreća dva teretna vozila [7]

Slika 6. Ozubljenje glave volana

Slika 7. Ozubljenje unutar same glave volana

Slika 8. Spoj ozubljenja upravljača i ozubljenja glave volana

Slika 9. Potrošeno ozubljenje

Slika 10. Faze procesa umora materijala [10]

Slika 11. Izrezano ozubljenje glave volana

Slika 12. Uzorak materijala

Slika 13. Olympus GX51 [13]

Slika 14. Rub uzorka, povećanje 500x

Slika 15. Sredina uzorka, povećanje 500x

Slika 16. Princip ispitivanja tvrdoće po Vickersu [14]

Slika 17. Mikroskop za mjerenje tvrdoće po Vickersu [16]

POPIS TABLICA I GRAFOVA

Tablica 1. 1 Udio pojedinih elemenata	21
Tablica 2. 1. Rezultati tvrdoće dobiveni Vickers metodom	25
Graf 1. 1 Ovisnosti udaljenosti od ruba uzorka i tvrdoće	28

POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
<i>HV</i>	HV	Tvrdoća
<i>F</i>	N	Ispitna sila
<i>A</i>	mm ²	Površina indentacije
<i>d</i>	mm	Aritmetička sredina dijagonala indentacije

SAŽETAK

Ovaj rad ima za zadatak karakterizirati materijal dijela upravljačkog sustava teretnog vozila. Opisan je rad upravljačkog sustava teretnog vozila i rad samog promatranog dijela unutar upravljačkog sustava.

Eksperimentalni se dio rada određuje kemijski sastav specifičnog dijela upravljačkog sustava. Promatra se mikrostruktura, njezine faze i konstituenti kao i tvrdoća materijala kućišta. Teorijski dio sadržava mehanizme trošenja upravljačkog dijela i materijale od kojih su upravljački dijelovi izrađeni.

Zaključci su doneseni na temelju dobivenih podataka iz provedenih testiranja, navedene literature i dobivene pomoći.

Ključne riječi: trošenje, upravljački sustav

1. UVOD

1.1. *Teretna vozila*

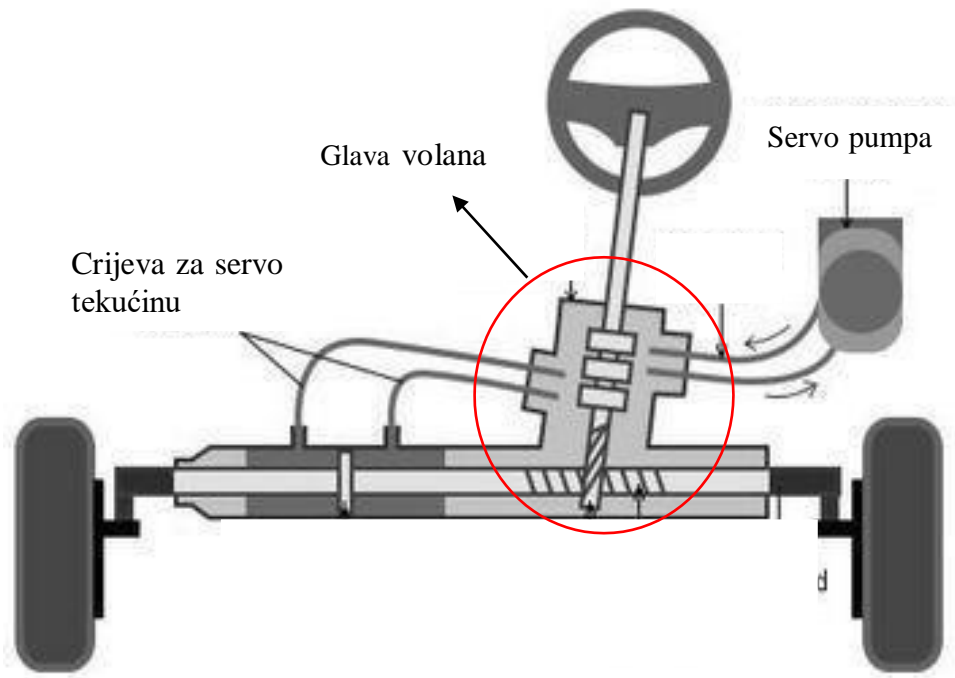
Teretno vozilo je cestovno motorno vozilo za prijevoz velikih tereta. Pogonjen je motorom s unutarnjim izgaranjem, najčešće Diesellovim motorom. (slika 1.) U novije vrijeme pokušava se implementirati električni pogon u teretna vozila. (slika 2.) Važnost teretnih vozila uistinu je nemjerljiva u životu i svijetu. Teretna vozila, posredno ili neposredno utječu na živote svih ljudi u svijetu. Gotovo 70% prijevoza razne vrste robe, prije ili kasnije, mora se transportirati teretnim vozilom. Prednosti prijevoza robe teretnim vozilima je prije svega isplativost i brzina samog prijevoza. Moderna teretna vozila na relaciji Split – Zagreb (400 kilometara udaljenosti) potroše u prosjeku 100 litara dizel goriva, dok taj isti put prijeđu za otprilike 6 sati . Obzirom na to koliku vrijednost i masu robe mogu prenijeti, tih 100 litara goriva je i dalje najjeftinije rješenje za sve one koji svoju robu žele u što većoj količini i što brže plasirati na tržište. Pored dostave hrane, odjeće, vode i lijekova, teretna vozila od velike koristi su u svim javnim službama. Prvenstveno tu su vatrogastvo, policija, javna zaštita, službe za spašavanja, komunalne službe, građevinske usluge i slično. Gotovo 2,5 milijuna ljudi zaposleno je u djelatnostima povezanim sa teretnim vozilima. Prosječna starost teretnih vozila u Europi iznosi 12 godina. Težnja je da ta prosječna starost bude što manja zbog povećanja sigurnosti svih sudionika u prometu. Teretno vozilo ima dvije ili tri, a za ekstremno velike terete i četiri osovine. Elastični ovjes vozila izvodi se s lisnatim, spiralnim i torzijskim čeličnim oprugama te zračnim oprugama. Upravljanje, odnosno okretanje upravljača, olakšavaju hidraulični ili pneumatski servouređaji. (slika 3.) Kočenje vozila pojačava se stlačenim zrakom, a često se kočionom sustavu pridružuju i sustavi kojima se dodatno povećava učinkovitost kočenja i stabilnost vozila. Za kočenje vozila često se koristi i motorna kočnica (kočenje se postiže prigušivanjem ispuha) ili druga rješenja, npr. hidraulični ili elektromagnetski usporivači.[1]



Slika 1. Teretno vozilo s unutarnjim izgaranjem [2]



Slika 2. Električno teretno vozilo [3]



Slika 3. Upravljački sustav teretnog vozila [4]

1.1.1. Kategorije teretnih vozila

Teretna vozila se dijele u 3 kategorije, i to:

kategorija N1 - Vozila za prijevoz tereta čija najveća dopuštena masa nije veća od 3,5 tona.

kategorija N2 - Vozila za prijevoz tereta čija je najveća dopuštena masa veća od 3,5 tona ali nije veća od 12 tona.

kategorija N3 - Vozila za prijevoz tereta čija je najveća dopuštena masa veća od 12 tona.

1.2. Sustavi unutar teretnog vozila

Unutar teretnih vozila postoji više sustava koji u koordiniranom radu omogućuju funkcionalnost samog vozila. Tu su prije svega pogonski sustavi, upravljački sustavi, sustavi klimatizacije, razni sustavi sigurnosti, osvjetljenja, hidraulike i slično.

1.3. Upravljački sustav i njegovi dijelovi

Najveći izazov u modernim, tehnički složenim vozilima je usklađenost performansi, ekonomičnosti i ekološke prihvatljivosti. Međutim, mnoge su ceste na kojima se vozi daleko od savršenstva. Stoga su šasija i nadogradnja teretnog vozila te upravljački sustav često izloženi ekstremnim opterećenjima, što u skladu s tim povećava zahtjeve za kvalitetom ugrađenih dijelova. Iz tog razloga treba koristiti isključivo pouzdane dijelove koji se ugrađuju u upravljački i ovjesni sustav. Precizno upravljanje i stabilnost vozila osiguravaju udobnost i sigurnost u vožnji. Na pouzdanost upravljačkog sustava vozila utječe kvaliteta dijelova upravljačkog sustava, na primjer kvaliteta ozubljenja glave volana. Pored ozubljenja glave volana te same glave volana, upravljački sustav teretnog vozila sastoji se od servo pumpe koja osigurava pomicanje dijelova upravljačkog sustava bez upotrebe velike sile korisnika. Unutar upravljačkog sustava nalaze se razni ležajevi i maziva koja osiguravaju normalan rad sustava. Zbog loših uvjeta na cesti, preopterećenja vozila, onečišćenja prskanjem vode ili nedostatka podmazivanja, ozubljenje glave volana može se oštetiti. Posljedice su nepreciznost upravljanja, potreba za konstantnim ispravljanjem smjera teretnog vozila i slično. U tom slučaju, glavu volana (slika 4.), uključujući i ozubljenje, treba odmah zamijeniti. Upravljački sustav je jedan od najvažnijih dijelova teretnih vozila, te su se upravo zbog loše kvalitete ili lošeg održavanja upravljačkog sustava događale katastrofalne tragedije na našim prometnicama (slika 5.). Iz tog razloga pri izradi dijelova upravljačkog sustava treba posebno voditi računa o eksploatacijskoj okolini, te opterećenjima.[5]



Slika 4. Glava volana [6]



Slika 5. Prometna nesreća dva teretna vozila [7]

1.4. Trošenje unutar upravljačkog sustava promatranog dijela

Trošenje – površinski gubici materijala tijela koja se uzajamno gibaju. Brzinu trošenja povećava:

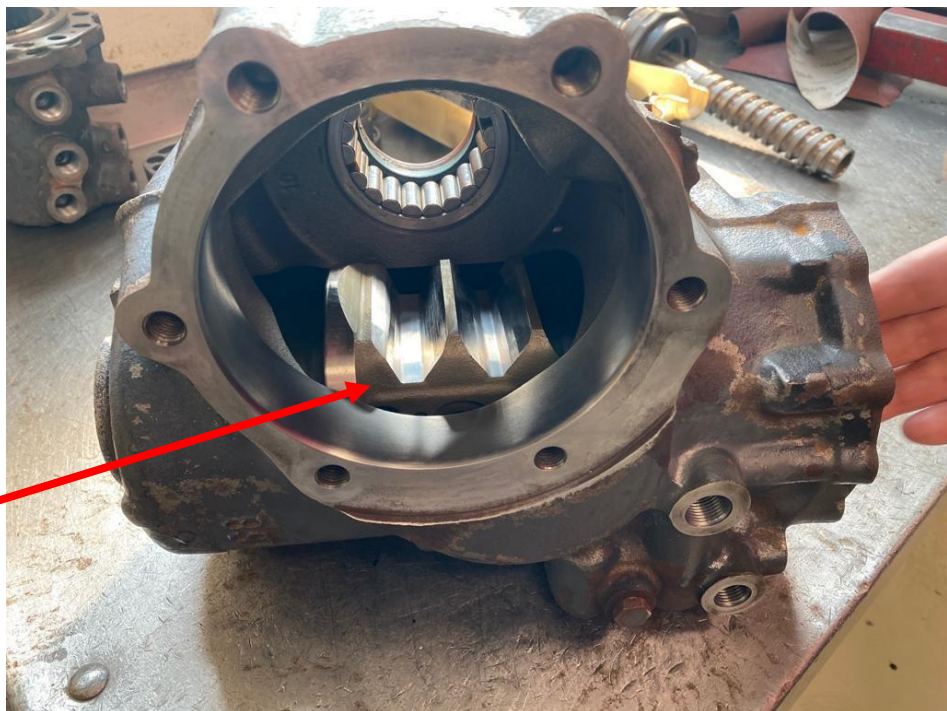
- (a) mehaničko djelovanje prisutnih stranih tijela i
- (b) kemijski agresivno djelovanje okoline.

Posljedice su trošenja promjene geometrije površina uzajamno pokretnih dijelova. Postoji više mehanizama trošenja, a to su: abrazijsko, adhezijsko i erozijsko trošenje te umor površine. [8]

Promatrani dio naziva se „ozubljenje glave volana“. (slika 6.) To je mehanički dio koji na sebi sadrži ozubljenja koja pak služe da ostvare kontakt između stupa upravljača i letve volana. Samo ozubljenje nalazi se kao zaseban dio unutar glave volana. (slika 7.) Konkretni promatrani dio bio je ugrađen u teretno vozilo Mercedes Atego 819, najveće dopuštene mase vozila 8000 kg, snage motora 140 kW, na kojem je primijećen problem pri upravljanju. Uslijed čestog okretanja volana, te vožnje po nesavršenoj cesti ozubljenje je izloženo velikim opterećenjima uslijed kojih dolazi do trošenja samog dijela. Do značajnog trošenja dovodi i pretovar samog teretnog vozila. Pretovari su slučaj kada teretno vozilo prevozi više tereta no što je njegovim karakteristikama dozvoljeno. Pretovari su zakonom kažnjivi međutim sve su češći u krugovima prijevoznika, zbog uštede goriva i radne snage. Međutim ono sa sobom nosi veliku opasnost od nesreće i oštećenje dijelova vozila. Važno za napomenuti je da je ozubljenje glave volana izuzetno važan faktor u točnosti i preciznosti upravljanja, samim time određuje sigurnost vožnje odnosno prijevoza.



Slika 6. Ozubljenje glave volana

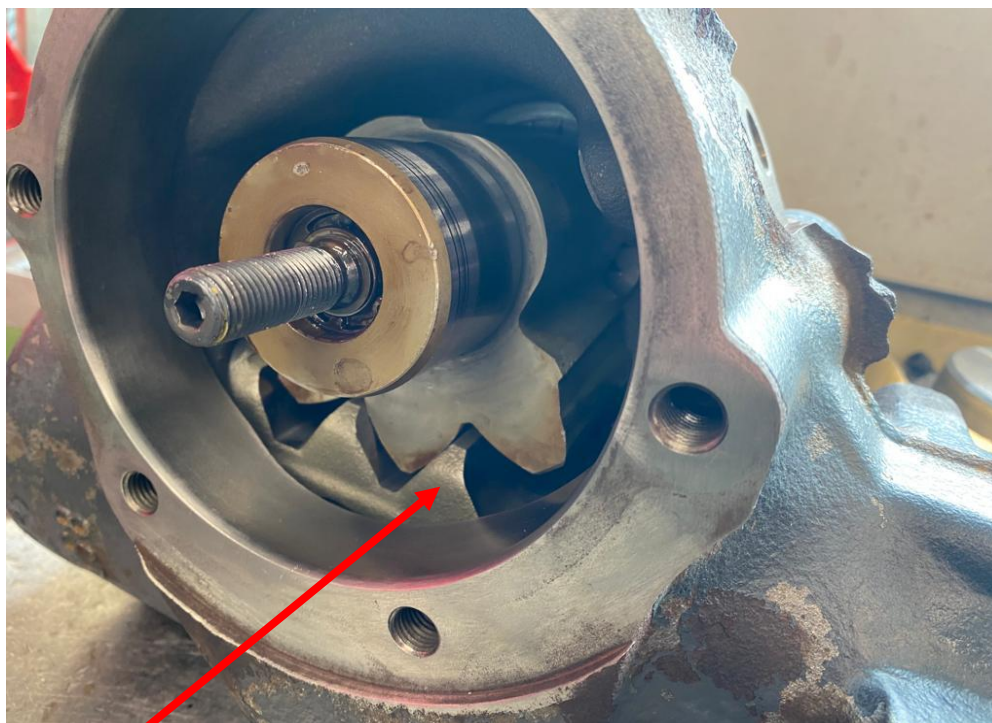


Promatrani
dio

Slika 7. Ozubljenje unutar same glave volana

1.5. Prisutni mehanizmi trošenja unutar ozubljenja glave volana

Kod svakog trošenja treba promatrati najprije površine koje su vidljivo u dodiru. U promatranom slučaju ozubljenje glave volana dolazi u dodir sa ozubljenjem samog upravljača. Pomicanjem upravljača lijevo ili desno, njegovo ozubljenje nailazi na ozubljenje glave volana, te se pomoću trenja ostvaruje gibanje u željenom smjeru. Općenito kod svih vrsta ozubljenja (cilindrični zupčanici, zupčani remeni, zupčane letve...) najistaknutiji mehanizam trošenja je trošenje uslijed umora površine. Tako je i u promatranom slučaju. Umor površine uzrokovao je vidljivo trošenje ozubljenja, pogotovo u sredini ozubljenja. U sredini ozubljenja trošenje je najveće zbog najvećih sila trenja i opterećenja. Dakle, u trenutku početnog okretanja upravljača ozubljenje glave volana je u sredini te se s upravljača prenosi veliko opterećenje. Nakon što gibanje prođe jedan zub ozubljenja, sile trenja i opterećenje višestruko opada. Iz tog razloga treba pripaziti prilikom okretanja upravljača dok vozilo miruje jer su sile trenja između kotača i površine najveće, samim tim i sila trenja na ozubljenjima je najveća. Kako izgleda spoj ozubljenja upravljača i ozubljenja glave volana prikazano je na slici. (slika 8.)



Slika 8. Spoj ozubljenja upravljača i ozubljenja glave volana

**Ozubljenje
glave volana**



Slika 9. Potrošeno ozubljenje

1.6. Umor površine

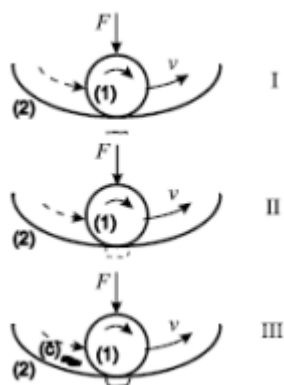
Umor materijala je pojava postupnog oštećenja materijala zbog dugotrajnih periodičnih promjenjivih opterećenja (naprezanja). Umor materijala nastaje uglavnom kod dinamički napregnutih konstrukcija. Prilikom dinamičkog opterećenja, materijal će puknuti pri znatno manjim napreznjima od maksimalne vlačne čvrstoće, pa čak i granice razvlačenja . Otpornost materijala prema dinamičkom ili cikličkom (titranje) napreznju nazivamo dinamička izdržljivost materijala. Čak 80 do 90% svih lomova materijala imaju svojstvo loma od umora materijala. Utjecaj promjenjivih opterećenja može biti praćen i visokim ili niskim temperaturama, i istovremenim djelovanjem agresivnih medija (npr. morska voda). Početne ili inicijalne pukotine koje nastaju kod umora materijala su pukotine koje se teško mogu otkriti prije loma. Lom zbog umora materijala počinje na mjestu najveće koncentracije napreznja.[9] Proces trošenja sastoji se od tri faze.

Tri faze (slika 10.):

1.faza: stvaranje mikropukotine, redovito ispod površine

2.faza: napredovanje mikropukotine

3.faza: ispadanje čestice trošenja (slika 9.)



Slika 10. Faze umora površine [10]

2. KARAKTERIZACIJA MATERIJALA

Zadatak karakterizacije materijala je određivanje materijala koji je korišten, te u konačnici zašto je došlo do nekog negativnog efekta na samom materijalu. (gubitak materijala, lom i slično). Za karakterizaciju se koristi već otprije poznat dio pod nazivom ozubljenje glave volana, te će se sva ispitivanja obavljati na tom dijelu. Prilikom preuzimanja ozubljenja glave volana dobivene su usmene informacije o eksploatacijskim uvjetima te o vremenu korištenja ozubljenja glave volana - 280 000 kilometara. Navedeni broj kilometara tj eksploatacija navedenog proizvodnog dijela u teretnom programu je izuzetno nizak, te se pri tim kilometrima ne očekuju dodatni troškovi upravljačkog sustava pored redovnog održavanja.

2.1. Priprema uzorka

Pod pojmom priprema uzorka podrazumijevaju se sve radnje potrebne za dobivanje uzorka na kojem će se obavljati karakterizacija materijala. Početna radnja kod pripreme uzorka je izrezivanje samog uzorka iz promatranog dijela. Uzorci su izrezani u Laboratoriju za toplinsku obradu . Izrezano ozubljenje glave volana i sami uzorak vidljivi su na slikama. (slika 11. i slika 12.)



Slika 11. Izrezano ozubljenje glave volana



Slika 12. Uzorak materijala

Nakon izrezivanja uzorka iz ozubljenja glave volana uzorak se oblaže polimernom smjesom radi lakšeg rukovanja. Često strojevi za obradu uzoraka imaju već definirane utore za uzorke. Komadi koji se ne mogu izrezati na željeni način ili su već u početku manjih dimenzija od odgovarajućih moraju biti ukalupljeni u polimernu smjesu radi lakšeg rukovanja. Uzorak se brusi brusnim papirima, postepeno sve sitnijim česticama, prvo 320, pa 600, 1000, 2400 i na kraju 4000 grita. Nakon brušenja za poliranje se koristi MECATECH 250 od Presi-ja. Polira se ručno pomoću dijamantne paste veličine čestica 3 μm . Potom se uzorak nagriza 30 s u 3% otopine nitala te se ispiru u destiliranoj vodi i alkoholu te suši u sušilici za uzorke, kako bi uzorak bio kvalitetno pripremljen za daljnja ispitivanja. Nepripremljeno stanje uzorka dovelo bi do potpuno pogrešnih rezultata koji se uopće ni ne bi mogli uzeti u razmatranje. Iz tog razloga uzorak je potrebno brusiti radi uklanjanja nekih većih neravnina. Tek nakon svih ovih obrada možemo smatrati da je uzorak spreman za ispitivanje.[11]

2.1.1. Podaci dobiveni XRF spektrometrijom

Približni podaci o kemijskom sastavu uzorka dobiveni su metodom XRF spektrometrije. Postoji više uređaja kojima se provodi metoda XRF spektrometrije. Najčešći izbor za dobivanje kvantitativnih vrijednosti je XRF pištolj.

Tablica 1. 1 Udio pojedinih elemenata

ELEMENT	UDIO ELEMENTA, %	ODSTUPANJE, +/-
Silicij, Si	0,25	0,05
Krom, Cr	0,22	0,02
Mangan, Mn	0,43	0,03
Željezo, Fe	98,5	0,29
Bakar, Cu	0,13	0,02
Molibden, Mo	0,476	0,010

Kao što je bilo očekivano dobiveni čelični dio je legiran raznim legirnim elementima. Iz te mase legirnih elemenata, najveći udio zauzima Molibden sa udjelom od 0.476 %. Molibden je metal visokog tališta koji služi da poveća otpornost na visoku temperaturu. Također jaki je karbidotvorac. Služi za povećanje korozijske postojanosti te obradivosti. Nakon molibdena legirni element koji ima najveći udio unutar legirnih konstituenata ima Mangan sa udjelom od 0.43 %. Mangan je gamageni element koji stabilizira austenitnu fazu pogotovo na nižoj temperaturi. Dodaje se da poboljša topivost dušika u austenitnoj fazi. Često se koristi u komercijalnim legurama da zamijeni skupi Nikal. Manganov je utjecaj na mehanička svojstva zanemariv. Od ostalih legirnih elemenata ističu se još Krom (otpornost na koroziju), Silicij (poboljšava livljivost i dezoksidaciju) te Bakar (gamageni element – stabilizira austenitnu fazu). Obzirom na postotke i udjele legirnih elemenata nameće se zaključak da se radi o niskolegiranom čeliku otpornom na trošenje.[12] Prema podacima dobivenim XRF metodom, materijal od kojeg je izrađen promatrani dio odgovara čeliku 41CrMo4, koji je poznat po svojoj upotrebi pri izradi zupčanika.

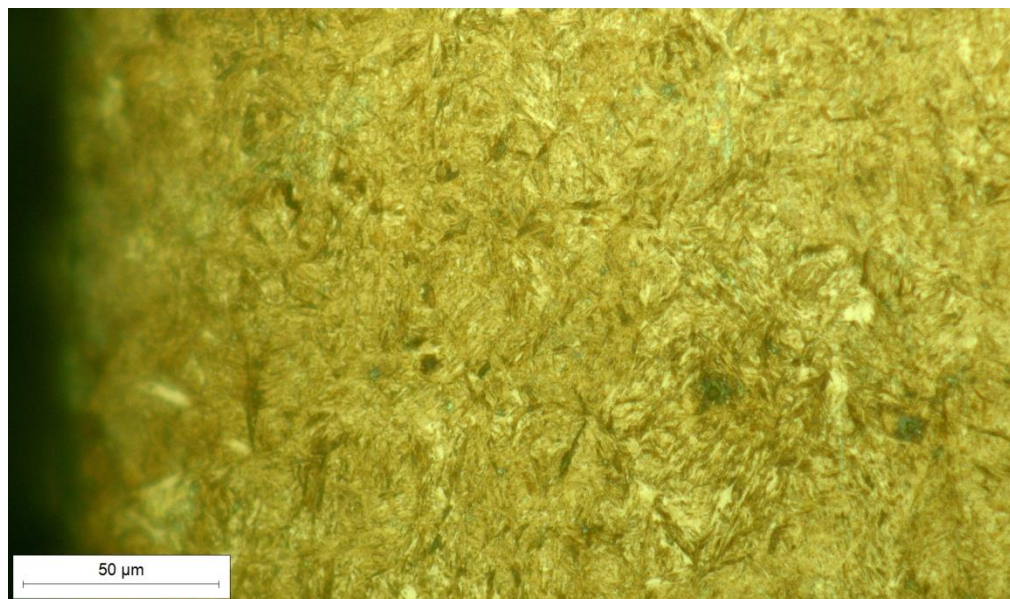
2.2. Svjetlosna mikroskopija

Svjetlosna mikroskopija koristi se kako bi se male strukture i uzorci učinili vidljivima pružanjem uvećane slike o tome kako su u interakciji s vidljivom svjetlošću. Za svjetlosnu mikroskopiju koristi se uređaj zvan mikroskop. Za analizu mikrostrukture odabranog uzorka korišten je svjetlosni mikroskop OLYMPUS GX51 (slika 13,)



Slika 13. Olympus GX-51 [13]

Na slikama 14. i 15. prikazana je mikrostrukturu promatranog uzorka.



Slika 14. Rub uzorka, povećanje 500x

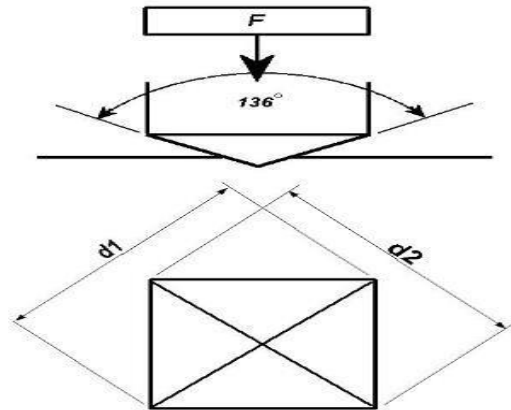


Slika 15. Sredina uzorka, povećanje 500x

Slike 14. i 15. jasno prikazuju martenzitnu strukturu.

2.3. *Određivanje tvrdoće*

Tvrdoća je svojstvo materijala koje se protivi zadiranju stranog tijela u njegovu strukturu (ili površinu). Vickers metoda koristi dijamantni penetrator u obliku pravilne četverostrane piramide i vršnog kuta od 136° . (slika 16.) Stoga indentacija izgleda poput konkavne (negativne) piramide kvadratične osnovice. Mjeri se duljina dvaju dijagonala indentacije, a kao referentna vrijednost uzima se njihova aritmetička sredina.



Slika 16. Princip ispitivanja tvrdoće po Vickersu [14]

Oprema za mjerenje tvrdoće po Vickersu najčešće je mikroskop sa ugrađenim penetrator kojim primjenjujemo silu na uzorak. (slika 17.) Da se uzorak ne bi micao tijekom mijenjanja pozicija ili mjerenja tvrdoće, služe 3 hvataljke i komadić plastelina koji onemogućuje gibanje. Mikroskop se sastoji i od stolića sa dvije pozicije: jedna pozicija za mikroskopiranje uzorka i mjerenje vrijednosti tvrdoća, a druga pozicija je za penetraciju odnosno ostavljanje otiska.[15]



Slika 17. Mikroskop za mjerenje tvrdoće po Vickersu [16]

2.3.1. Podaci dobiveni mjerenjem tvrdoće

Tablica 2. 1. Rezultati tvrdoće dobiveni Vickers metodom

Broj mjerenja	Iznos tvrdoće, HV 0,5	Udaljenost od ruba, mm
1.	689	0.025
2.	752	0.1
3.	742	0.2
4.	742	0.3
5.	697	0.4
6.	706	0.5
7.	680	0.6
8.	680	0.7
9.	656	0.8

10.	664	0.9
11.	634	1.0
12.	619	1.1
13.	572	1.2
14.	572	1.3
15.	572	1.4
16.	565	1.6
17.	536	1.8
18.	519	1.98
19.	503	2.18
20.	487	2.46

Prilikom mjerenja tvrdoće mijenjala se udaljenost od ruba na kojoj je mjerena tvrdoća kako bi se mogla odrediti efektivna dubina cementiranja. Vidljivo je da rezultati tvrdoće opadaju kako se indenter udaljava od ruba. Rub je cementiran da bude što otporniji na trošenje i što tvrdi, dok je jezgra manje tvrdoće, ali veće žilavosti da izdrži dinamička opterećenja. Mjerenjem tvrdoće očigledno je da je na površini izuzetno visoka tvrdoća (0,1 mm od ruba tvrdoća iznosi gotovo 750 HV 0,5) iz čega izlazi zaključak da je promatrani dio toplinski obrađen da mu se povisi tvrdoća, odnosno otpornost na trošenje.

2.3.2. Određivanje efektivne dubine cementiranja

U metalurgiji, cementiranje čelika, postupak površinske obradbe kojom se površina čelika otvrdnjava obogaćivanjem ugljikom. To se postiže zagrijavanjem čelika na 900 °C uz prisutnost tvari koje sadrže ugljik (ugljen, natrijev karbonat, prirodni plin). Cementiranje čelika je zapravo postupak toplinske obrade koji se sastoji od pougljičenja, kaljenja i niskotemperaturnog popuštanja. Pritom u plinovitoj fazi nastaje atomski ugljik, koji se adsorbira i difundira u površinski sloj čelika. Također, cementiranje metala, taloženje metala iz otopina dodatkom manje plemenitog, usitnjenog metala. Primjenjuje se npr. za dobivanje bakra iz otopine nastale izluživanjem siromašnih ruda sumpornom kiselinom, uz dodatak željezne strugotine. Cilj je dobivanje velike tvrdoće površine, uz istovremenu veliku žilavost jezgre.[17]

Efektivna dubina cementiranja je ona dubina na kojoj postizemo tvrdoću u iznosu od 550 HV. Obzirom da dobiveni rezultati ne sadrže egzaktan iznos tvrdoće od 550 HV, potrebno je ići u proces interpolacije. Rezultati koji su manji odnosno veći od broja 550 su 536 te 565 HV 0,5.

Formula za interpolaciju:

$$Y=Y1+((Y2-Y1)/(X2-X1))*(X-X1)$$

$$Y1 = 1.6 \text{ mm}$$

$$Y2 = 1.8 \text{ mm}$$

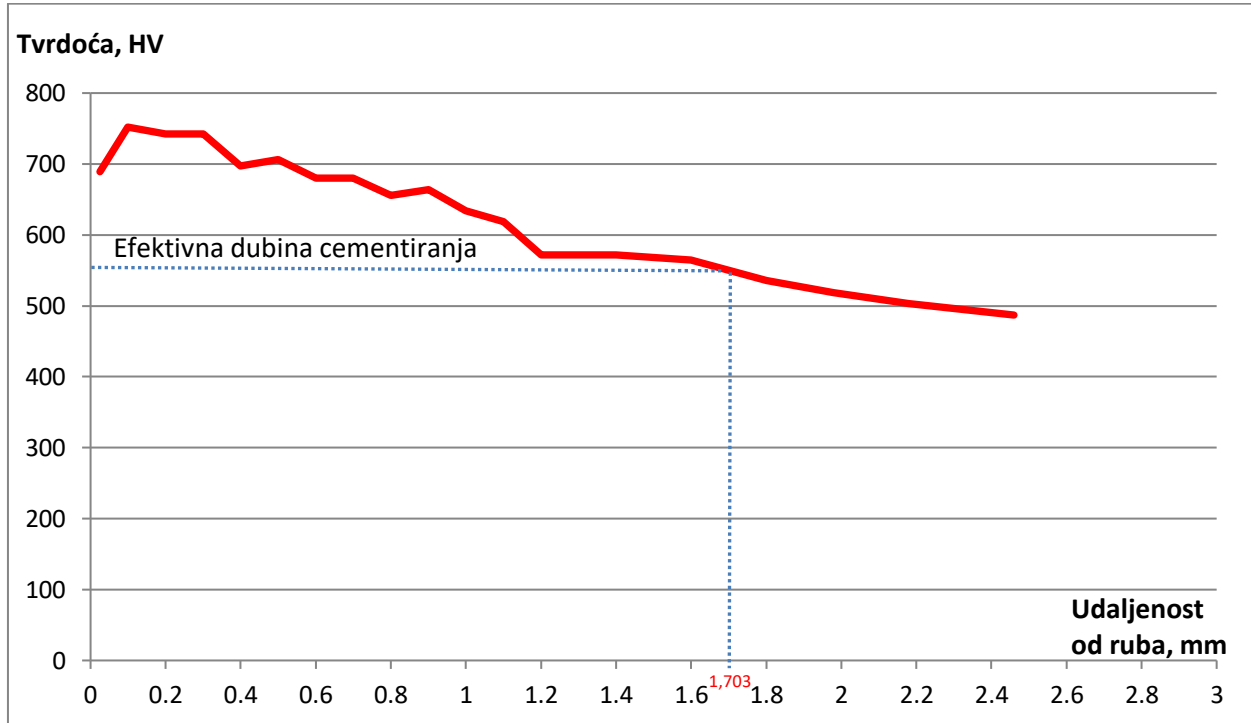
$$X1 = 565 \text{ HV } 0,5$$

$$X2 = 536 \text{ HV } 0,5$$

Nakon izračuna te interpolacije efektivna dubina cementiranja iznosi 1,70344 mm.

.Uz računski rezultat najčešće se prikazuje i graf cementiranja (graf 1.1).

Graf 1. 1 ovisnosti udaljenosti od ruba uzorka i tvrdoće



Iz grafa 1.1 koja predstavlja vrijednosti tvrdoće na različitim udaljenostima od površine može se očitati efektivna dubina cementiranja (EDC) te iznosi 1,70344 mm pri tvrdoći 550 HV_{0,5}.

Analizom mikrostrukture (slike 13 i 14) i rezultata izmjerene tvrdoće (tablica 2.1) zaključuje se da je jezgri visokouglične martenzitne mikrostrukture tvrdoće do 752 HV_{0,5}, dok je na rubu osovine niskouglična martenzitna mikrostruktura s dijelovima ferita tvrdoće do 487 HV_{0,5}.

3. ZAKLJUČAK

Uslijed velike potrebe za određenim proizvodima raste i potreba za teretnim vozilima. Iz tog razloga proizvođači teretnih vozila, kao i svaka industrija više brinu o kvantiteti nego li kvaliteti kako bi uz najmanje troškove i najkraće vrijeme proizvodnje isporučili svoj proizvod. Uslijed te težnje koriste se jeftiniji materijali koji nisu dostatni za dugotrajnu upotrebu već dolazi do njihovog trošenja relativno rano. Nakon ispitivanja odabranog uzorka može se zaključiti sljedeće:

- Analizom mikrostrukture i mjerenjem tvrdoće zaključeno je da je na rubu uzorka visokouglična martenzitna struktura tvrdoće do 752 HV0,5, a jezgra uzorka je niskouglična martenzitna struktura tvrdoće do 487 HV0,5.
- Ozubljenje glave volana je kaljeno. Efektivna dubina cementiranja iznosi 1,70344 mm
- Dominantan mehanizam trošenja kod ozubljenja glave volana je umor površine. To je očekivano obzirom da je taj mehanizam trošenja dominantan u većini slučajeva trošenja ozubljenja.

4. LITERATURA

- [1] <https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=30103> (23.12.2022.)
- [2] <https://www.kamion-bus.hr/7473/Scania-vas-poziva-na-SUPER-Test%26Drive-druzenje-u-Zagrebu-12-travnja> (23.12.2022.)
- [3] https://automania.hr/mercedeaov_elektrichni_kamion_spreman_za_serijsku_proizvodnju_a_ima_doseg_s/ (23.12.2022.)
- [4] <https://www.mechanicalbooster.com/2017/12/power-steering-system.html> (26.12.2022.)
- [5] <https://www.febi.com/hr/kamion/upravljanje-i-suspenzija/> (26.12.2022.)
- [6] <https://5.imimg.com/data5/IU/XT/DR/SELLER-9179891/steering-gear-box-1000x1000.jpg>
(28.12.2022)
- [7] <https://vukovarsko-srijemska-policija.gov.hr/vijesti/prometna-nesreca-dva-teretna-vozila/18831>
(26.12.2022.)
- [8] <https://www.ffri.hr/~mdundjer/Elementi%20strojeva%20II/11TrenjeTrosenjeIPodmazivanje.pdf>
(30.12.2022.)
- [9] https://hr.wikipedia.org/wiki/Umor_materijala (30.12.2022.)
- [10] Kolegij Tribologija i inženjerstvo površina, podloge za predavanja
- [11] <https://www.ffri.hr/~mdundjer/Elementi%20strojeva%20II/11-> (30.12.2022.)
- [12] prof.dr.sc. Darko Landek, *Utjecaj legiranih elemenata na svojstva materijala*, podloge za predavanje
- [13] <https://www.spachoptics.com/olympus-GX51-inverted-metallurgical-microscope-p/olympus-gx51.htm> (03.01.2023)
- [14] https://www.ispitivanje.com/smjernice-za-ispitivanje-tvrdoce/#vickers_metoda (03.01.2023)
- [15] https://www.ispitivanje.com/smjernice-za-ispitivanje-tvrdoce/#vickers_metoda (03.01.2023)
- [16] <https://www.mediotehna.hr/hr/Stolni-uredaji-za-mjerenje-tvrdoce/Stolni-uredaj-za-mjerenje-tvrdoce-IDV10-digitalni.hr> (04.01.2023)
- [17] <https://link.springer.com/article/10.1007/s11440-018-0660-7>