Okaljene zone i strukture materijala zuba zup anika

ZORAN M. KARASTOJKOVIĆ, Visoka tehnička škola strukovnih studija, Beograd

ZORAN V. JANJUŠEVIĆ, Institut za tehnički i nuklearni

i drugih mineralnih sirovina, Beograd

ZORICA M. KOVAČEVIĆ, Institut za ispitivanje materijala, Beograd

NIKOLA S. BAJIĆ, IHIS Tehnoexperts, Beograd

RADIŠA Ž. ŽUNJANIN, Visoka tehnička škola strukovnih studija, Beograd

TIJANA Z. STOŽINIĆ, Visoka tehnička škola strukovnih studija, Beograd

Stručni rad

UDC: 621.833

DOI: 10.5937/tehnika1603399K

Zup anici se koriste kod mnogih tipovima mašina, uključujući i automobilsku industriju, kao veoma poznatu primenu. Različiti tipovi zup anika su specifikovani kroz mnoge (međunarodne) standarde, uglavnom se to odnosi na geometriju ili zahteve u pogledu konstrukcije, dok su (mikro)strukture zuba zup anika manje poznate. U dijagnostici oštećenja ili loma, kada do toga dođe, pristupa se ispitivanju mikrostrukture, ali je to obično veoma kasno. Iz tog razloga, (mikro)struktura i tvrdoća zuba zup anika se moraju znati unapred, što je ovde definisano.

U proizvodnji zup anika više su zastupljene metode rezanja (glodanja, brijanja ili brušenja zuba) nego kovanje. Metode rezanja nemaju veliki uticaj na mikrostrukturu zuba zup anika. Ukoliko brušenje nije izvedeno korektno, onda i otvrdnuta površina može postati omekšana ili čak sa pukotinama. Glavni uticaji na strukturu, koja će nastati, potiču od primenjene proizvodne tehnike, kao što su: livenje, kovanje, valjanje i konačno vrste hemijsko-termičke obrade površine zuba.

Ovde su prikazane tipične zone i mikrostrukture posle izvedene hemijsko-termičke obrade, a koje se moraju poznavati, posebno za sprovođenje ulazne kontrole zup anika u industrijskim uslovima. Ovi podaci su od suštinske važnosti za radni vek zup anika.

ključne reči: zup anici, mikrostruktura, tvrdoća, kaljenje

1. UVOD

Zup anici su neosporno bili jedan od najvažnijih mašinskih elemenata, uopšte, u istoriji čovečanstva. Mora se istaći da je bilo civilizacija (npr. Maje) kod kojih nije potvrđeno postojanje niti korišćenje točaka, odatle ni zup anika.

Danas su zup anici zastupljeni u mnogim uređajima i mašinama, tako da je rad u industriji prosto nezamisliv bez njih. Analiziranje uzroka razaranja zup anika je postala ozbiljna disciplina, naravno i potrebna sa aspekta pouzdanosti rada, ekonomije i sl.

Pristup ovakvom analiziranju mora da obuhvati sledeće elemente: mašinsku obradu, izbor odgovarajućeg materijala, termičke obrade i režima rada u eks-

ploatacionim uslovima. U okviru ovakvih razmatranja, pouzdan rad zup anika se, izmeću ostalog, ne može očekivati bez temeljne analize stanja strukture zup anika.

Jedan od estih primera ugradnje zup anika je menjač u automobilu, takav primer je pokazan na slici 1. Što je (pod)sklop složeniji to je verovatno i otkaz celog sistema bitniji, a odakle proistiće da se dijagnostici radnih elemenata mora pokloniti zaslužena pažnja. Kod zup anika se i dan-danas poklanja velika pažnja u cilju: analize rada, delovanju sila (dinamičkih i statičkih proračuna), konstrukcije, metodama rezanja, potom praktičnih ispitivanja i dr.

Kada se govori o kvalitetu zup anika, iesto se (pogrešno) problem svodi samo na geometrijske karakteristike zuba zup anika, pri čemu se misli, pre svega, na hrapavost površine zuba. Hrapavost, neosporno, utiče na vrednosti habanja zuba zup anika. Tu su i drugi uticajni parametri, kao što su: tvrdoća, dubina prokaljivosti, koeficijent trenja, dinamička izdržljivost i ostali uslovi koji definišu kvalitet [1-7].

Adresa autora: Zoran Karastojković, Visoka škola strukovnih studija, Novi Beograd, Bul. Zorana Đinđića 152a

Rad primljen: 10.11.2015.

Rad prihvaćen: 09.02.2016.

Slika 1 - Stereoskopski pogled na jedan reduktor-sinhroni menja u automobilu

2. DIJAGNOSTIKA STRUKTURE MATERIJALA ZUP ANIKA

Kada je u pitanju dijagnostika kvaliteta zuba, time i zup anika pa i celog sklopa, odnosno mašine, mora se uzeti u razmatranje i stanje strukture materijala od kojeg je napravljen zup anik. U prvom pristupu izu-avanju strukture ovde se podrazumeva utvrđivanje stanja strukture polaznog materijala [1-2], odnosno

kakva će biti struktura posle (hemijsko) termičke obrade zup anika [3-8] ili brušenja. U analizi polaznog materijala mora se poći od linijskog rasporeda kristalnih vlakana, zaostalih usled primene neke prethodne obrade (kovanje, valjanje, mnogo ređe livenje). Nekoliko takvih karakteristika njihovih primera je pokazano na slici 2. Prikazan tok vlakana ne zavisi od vrste elika [5-10], jer su prikazane linije posledica izrade (kovanja i valjanja).

Slika 2 - Makroskopski izgled rasporeda vlakana u materijalu zup anika: a) statistički ujednačena raspodela sitnih kristalnih zrna, b) linijski raspored vlakana i c) vlakna približno prate profil zuba

P na slici 2 označava smer i mesto delovanja sile na bok zuba. Makroskopskim pregledom se prvo utvrđuje stanje strukture, slike 2. Struktura sa slike 2 a) pripada termički neobrađenom zup aniku, u smislu izostajanja kaljenja. Ukoliko je zup anik izrađen iz kovane ili valjane šipke/gredice, onda posle rezanja zuba

zaostaju vlakna u linijskom rasporedu. Naime, usled kovanja ili valjanja nastaje izduženje kristalnih zrna, ali se takav raspored prekida rezanjem, prikazano na slici 2 b).

Takva struktura ne obezbeđuje veliku vrstoću zuba. Od takve strukture materijala, tj. zup anika, se

ne može otkrivati velika dinamika izdržljivost, time se naravno ugrožava rad celog sistema. Struktura vlakana sa slike 2 c) je povoljnija sa aspekta dužine radnog veka zup anika.

Stanje strukture materijala zup anika se dijagnosticira detaljnim metalografskim pregledom mikrostrukture [8-10], nekoliko primera je prikazano na slici 3.

Slika 3 - Mikrostrukture elika zup anika: a) po etna-feritno-perlitna x200; b) kaljena (martenzitna) i c) kaljena i otpuštena

Samo malo opterećenje zup anici smeju da imaju nekaljenu strukturu (tipa feritno-perlitne) dok svi kvalitetni zup anici se moraju kaliti i otpustiti (do otpuštenog martenzita). Ispod ovog sloja sledi beinitna struktura itd.

Izboru vrste elika za izradu zup anika se, otkriva, poklanja zaslužena pažnja, što se može naći u udžbenicima i priručnicima iz ove oblasti [7÷13]. Zbog velikih kontaktnih opterećenja u radu zup anika, bokove zuba treba otvrdnuti. Termička obrada tela zup anika je manje zahtevna, i to je tako kod svakog zup anika. Izvestan realan problem kod termičke obrade

zup anika predstavlja termička obrada žljeba za klin, što predstavlja zaseban problem.

Praćenjem mikrostrukture u zup aniku i njegovim zubima dolazi se do zanimljivog rasporeda okaljanih zona. Za utvrđivanje da li je u nekoj zoni nastalo kaljenje ili ne, nije uvek neophodan metalografski pregled već je za to korisno merenje tvrdoće po površini zuba. Merenje tvrdoće po dubini zuba nije uvek izvodljivo, jer primena te metode zahteva razaranje zuba. Nekoliko najtipičnijih primera otvrdnutih zona primenom površinskog kaljenja u površinskim slojevima zuba, prikazano je na slikama 4 a) i b).

Okaljani sloj - oblast zateznih napona

Okaljani sloj

Slika 4 - Šematski prikaz okaljenih površina zuba zup anika: a) samo bokova zuba; b) bokova sa korenom zuba i c) ceo profil zuba, uključujući i temelnu površinu

Ispod okaljane zone sa martenzitnom strukturom postoji beinitna struktura, u dubini tela zup anika nekada čak i feritno-perlitna struktura. U slučaju primene

hemijsko-termičke obrade zup anika (najčešće cementacije), profil tako otvrdnutog sloja ima izgled kao na slici 4 c).

Za ispravno dijagnostifikovanje ostvarenih vrednosti tvrdoće u primenjenom postupku hemijsko-termičke obrade neophodno je imati u vidu konkretan efekat, jer uvek postoje nijansirane razlike u ostvarenim vrednostima tvrdoće. Dijagnostikom strukture se ne završava dijagnostika stanja materijala zupčanika.

Pažnju treba obratiti i na moguću pojavu razumljivosti površine zuba, kao posledica primenjenog režima hemijsko-termičke obrade [6-10].

Na izgled dobijene strukture utiče i na inženjerska struktura (termin koji je uobičajen pri metalografskom pregledu metala), u dva primera ilustrovano na slici 5.

Slika 5 - Tvrdoća i izgled makrostrukture okaljanih zupčanika pri nagrizanju u alkoholnom rastvoru sa: a) bakar(II)hloridom i b) azotnom kiselinom (nital) [9]

Posmatranje (mikro)strukture se uvek kombinuje sa merenjem tvrdoće. Tvrdoće su na slici 5. izmerene korišćenjem najefikasnijih metoda, po Brinelu (HB) i Rockwellu (skala HRC). Najveće vrednosti tvrdoće su, očekivano, u zonama kaljenja a najmanje u jezgri, ista slika.

3. DIJAGNOSTIKA OŠTEĆENJE POVRŠINE I TVRDOĆE PO BOKU ZUBA

Oštećenja površine zuba na zupčaniku koji je bio u eksploataciji lako su vidljiva golim okom, slika 6. Ova vrsta oštećenja nastaje iz više razloga: mala tvrdoća, velika količina nemetalnih uključaka, kavitacija (usled

agresivne radne atmosfere), prisustvo neistotnosti ili tvrdih proizvoda korozije i tome slično.

Slika 6 - Oštećenje površine bokova zuba

Vrednosti tvrdoće mogu biti pouzdan pokazatelj u dijagnostici stanja materijala zuba zupčanika. Merenje tvrdoće celog komada, nekih normalnih dimenzija i na ravnoj površini ne predstavlja problem. Međutim, merenje tvrdoće na samom boku zuba, tj. na kontaktnoj (radnoj) površini, i posebno kada su zubi zupčanika kosi, helikoidalni ili slično, predstavlja ozbiljan problem. Za takva merenja se moraju napraviti specijalni alati-držaci, što se u praksi često čini.

Podaci o tvrdoći na samom boku zuba svakako su merodavni za ocenu kvaliteta zupčanika u odnosu na tvrdoću materijala izmerenu negde unutar zupčanika. Na osnovu izmerenih vrednosti tvrdoće, pouzdano se može vršiti dijagnostička analiza o stanju ispitivanog materijala i primenjenog režima obrade, uključujući i režim eksploatacije zupčanika.

4. DIJAGNOSTIKA PRSLINA

Pojava prlina u zupčanicima je, nažalost, moguća. Za uočavanje ljuštenja ili sličnog oštećenja često je dovoljan vizuelni pregled [11, 14]. Ipak, male pukotine nije uvek lako otkriti vizuelnim pregledom niti direktnim merenjem tvrdoće, već primenom metalografske analize, kao u prikazanom primeru na slici 7. Obrazovanju pukotina u zubima zupčanika, pri termičkoj obradi ili u nekim drugim postupcima obrade, poklanja se dužna pažnja [15]. Za otkrivanje pukotina najefikasnije služe metode ispitivanja penetrantima, ferofluksom ili magnetnim esticima [16].

Slika 7 - Pukotine u materijalu zupčanika: a) na vrhu izvaljanog zuba, x15 i b) u telu zupčanika, x200

5. DISKUSIJA

Kontroli geometrije zuba zup anika u fazama proizvodnje se poklanja ogromna pažnja, što se ne bi moglo reći i za pranje profila okaljenih zona i pripadaju ih struktura.

Cela površina zuba, uključujući i bok zuba, koren zuba i temena površina, se obrađuje uglavnom primenom nekog od postupaka hemijsko-termičke obrade (cementacija, nitiranje, karbonitriranje i sl.) a ređe površinskim kaljenjem. Habanje zuba zup anika je najveće po bokovima, ali lom u zup aniku uopšte može da nastane i na drugim položajima zup anika, čak i u korenu zuba.

Strukturama koje nastaju posle primene nekog od postupaka (hemijsko) termičke obrade još uvek se ne poklanja potrebna pažnja u proizvodnji. Tek prilikom dijagnostifikovanja nastalih oštećenja pristupa se tražanjima za uzrocima oštećenja ili loma. Dijagnostika stanja strukture materijala zuba zup anika vrši se primenom nekoliko metoda, pri čemu su u ovom radu obrađene metalografska analiza i merenje tvrdoće. U istu svrhu je moguća primena i drugih metoda, najčešće magnetnim testovima i penetrantima [15,16]. Slojevitost struktura sa slike 2, pouzdano se otkriva samo metalografskim makronagrizanjem. To se odnosi i na pojavu sitnih pukotina, nastalih bilo posle kaljenja ili brušenja.

Profil tvrdoće kako po površini tako i po preseku zuba se mora definisati i pratiti (kontrolisati). Neosporno je da su metalurške karakteristike okaljenih zuba imati veliki uticaj na dinamiku rada zup anika, time i celog sklopa. Za dijagnostifikovanje mikrostrukture i razlikovanja nijansi, koje presudno utiču na kvalitet materijala i tribološke karakteristike zup anika [14], neophodno je solidno znanje iz oblasti metalografije i termičke obrade elika.

6. ZAKLJUČAK

Za dijagnosticiranje stanja zup anika neophodna su kako makro - tako i mikrostrukturna ispitivanja. Sitne pukotine, nastale posle termičke obrade ili brušenja, mogu biti otkrivene samo mikrostrukturnim ispitivanjem. U takvim ispitivanjima se proverava i tok (niz) vlakana: uvek je poželjno da tok vlakana (usled kovanja ili valjanja) prati složen profil zuba. Ukoliko su vlakna isečena i paralelna, tada je utvrđeno znatno smanjenje radnog veka zup anika.

Oblici (profili) okaljenih zona, naravno i nastale strukture materijala zuba, imaju presudan značaj na dinamiku ponašanja zup anika. Posle primene otpuštanja zup anika, tvrdoća otpuštenog martenzita (bez obzira na oblik zone kaljenja) treba da bude ispod 62 HRC jedinica ili još bolje ispod 61 HRC. I ovako mala

promena tvrdoće prilikom otpuštanja ima veliki uticaj na dinamiku rada zup anika.

Poznavanje oblika okaljenih zona je od suštinske važnosti u onim slučajevima kada se kasnije, iz bilo kojeg razloga, pristupa reparaciji delimično ishabanih zuba zup anika.

LITERATURA

- [1] R. A. Walsh, Mc Graw-Hill MACHINING and METALWORKING Handbook, New York, Mc Graw-Hill. str. 921-998, 1999.
- [2] : -
 ,
 ,
 179-209, 1986.
- [3] , , ,
 ,
 284-303, 1986.
- [4] G. Kozec, B. Kozec, M. Soković, Analiza oštećenja zup anika mlina za cement, Tehn. dijagnostika, IX/2010/4, str. 3-7.
- [5] Z. Karastojković, Termička obrada metala, Viša tehnička škola Novi Beograd, Novi Beograd, str. 122-176, 1996.
- [6] G. Parrish, G. S. Harper, Production Gas Carburising, Oxford, Pergamon Press, str. 42-63, 1985.
- [7] , -
 i
 ,
 63-88, 1989.
- [8] E. C. Rollason, Metallurgy for Engineers, London, E. Arnold, str. 175-243, 1973.
- [9] Yu. A. Geller, A. G. Rakhstadt, Science of materials, Moscow, MIR Publishers, str. 341-363, 1977.
- [10] Yu. Lakhtin, Engineering Physical Metallurgy and Heat-treatment, Moscow, MIR Publishers, str. 226-258, 1986.
- [11] , , ,
 ,
 98-186, 1987.
- [12] ,
 ,
 118-171, 1965.
- [13] , ,
 (. , -
),
 :
 ,
 305-318, 1983.
- [14] U. L. Basiniuk, M. A. Levantsevich, N. N. Maksimchenko, I. Mardasevich, Improvement of Tribological Properties and Noise Reduction of Tooth

Gears by Cladding Functional Coatings on working Surfaces of Interfaced Teeth, J. Friction and Wear, 34/2013/6, str. 438-443.

[16] V. Khade, M. S. Ramgir, Study of Gear Teth Distorsions Due to Heat Treatment, Int. J. Of Sci&Technology Research, 4/2015/2, str. 74-79.

[15] J. Shi, S. Q. Bai, Research on Gear Repairing Technology by Laser Cladding, Key Engineering Materials, 2013/546, str. 40-44.

SUMMARY

QUENCHED ZONES AND MATERIAL STRUCTURES AT GEAR'S TEETH

Gears are used in most types of machinery, including the automotive industry as a wide known application. Different types of gears are specified through many (inter)national standards, mainly their geometry, design specifications or requirements while the (micro) structures of gear's teeth are less known. In diagnostics of damage or rupture, when it is happened, the microstructure undergoes to investigation but this is usually too late. From that reason the (micro)structure and hardness of gear tooth should be known in advance and here is defined.

In manufacturing of a gear many methods are available rather by cutting (milling, hobbing, shaving or grinding) than forging. Those cutting methods have no great influence on the structure. If the grinding was not performed correctly than the hardened surface may be softened, even with cracks. The main influences on the structure to be obtained lie in a kind of production techniques such as: casting, forging, rolling and finely by a kind of chemical heat-treating of gear teeth surface.

Here are presented typical zones and microstructures realized through the chemical heat-treating of teeth, and those should be known, especially for providing an incoming control of a gear in industrial conditions. Those data are of a crucial importance for a gear life.

Key words: gears, microstructures, hardness, quenching