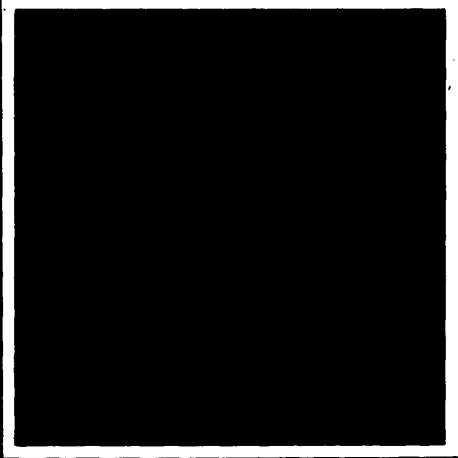
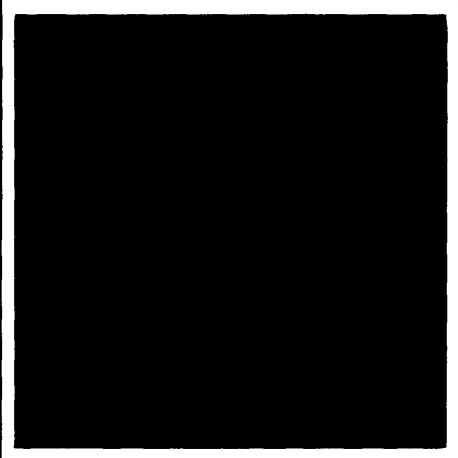
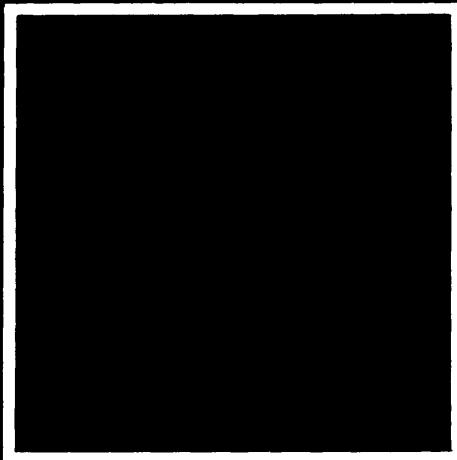
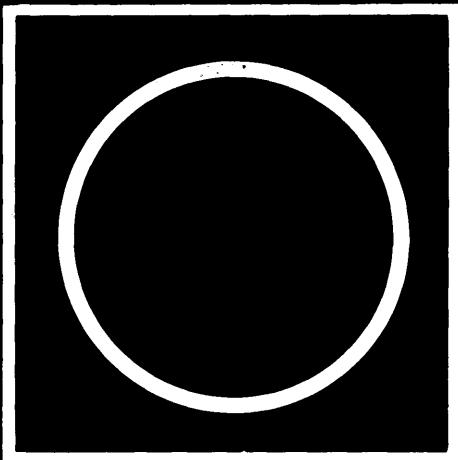
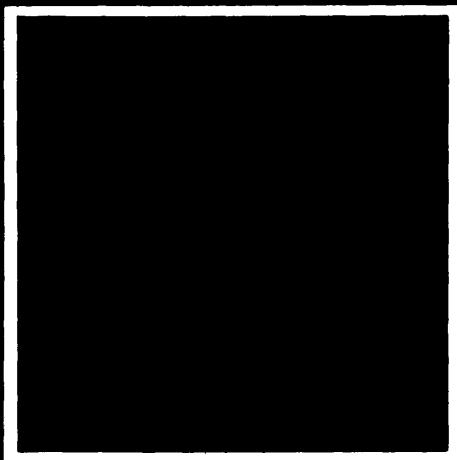


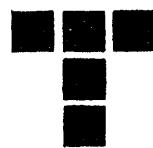
tribologija u industriji

YU ISSN 0351-1642
GODINA IV
JUN 1982.

2



Nauka i tehnologija o prenosu i rasipanju masa i energije u mehaničkim sistemima



GODINA IV
BROJ 2
JUN 1982.

tribologija u industriji

sadržaj contents содержание

UVODNIK INTRODUCTION ПЕРЕДОВИЦА

B. IVKOVIĆ: Sistemska prilaz rešavanju triboloških problema u industriji prerade metala — System Approach to Solving Tribological Problems in the Metal Processing Industry — Системный подход решению вопросов в металлообрабатывающей промышленности — — — — —

39

ISTRAŽIVANJA RESEARCH ИССЛЕДОВАНИЯ

M. KOKIĆ: Trošenje alata pri obradi odlivaka u serijskoj proizvodnji većeg obima — The Wear of Tools in Machining of Castings in the Conditions of Large Series Production — Износ инструмента при обработке отливок в крупносерийном производстве — — — — —

41

V. VOLČANŠEK: Uticaj kvaliteta i hemijskog sastava površine alata na otpore isticanja pri istiskivanju aluminijuma — The Effects of Finish and Chemical Composition of Tool Surface on the Resistances in Aluminium Extrusion — Влияние качества химического состава поверхности инструмента на сопротивление течению при выдавливании алюминия — — — — —

48

S. TANASIJEVIĆ: Promena fizičko-mehaničkih karakteristika površinskog sloja u periodu razornog habanja zuba zupčanika — Changes in Physico-mechanical Properties of the Surface Layer in the Period of Destructive Wear of Gear Teeth — Изменение физико-механических свойств поверхностного слоя в процессе разрушительного износа зуба зубчатого колеса — — — — —

53

ZA NEPOSREDNU PRAKSU FOR DIRECT PRACTICE ДЛЯ НЕПОСРЕДСТВЕННОЮ ПРАКТИКУ

— — — — —

57

KNJIGE I ČASOPISI BOOKS AND JOURNALS КНИГИ И ЖУРНАЛЫ

— — — — —

59

NAUCNI SKUPOVI SCIENTIFIC MEETINGS НАУЧНЫЕ СОБРАНИЯ

— — — — —

62

REZIMEA ABSTRAKTS РЕЗЮМЕ

— — — — —

63

Sistemski prilaz rešavanju triboloških problema u industriji prerade metala

Tribološki procesi i procesi habanja koji se neminovno javljaju na elementima tribomehaničkih sistema sadržanih u proizvodnoj i drugoj opremi izazivaju, kao što je poznato, povećano trošenje energije, smanjenje pouzdanoći funkcionsanja mašina i uređaja, povećanje troškova njihovog održavanja i smanjenje njihovog ukupnog veka trajanja. Sve ove posledice razvoja procesa habanja na elementima tribomehaničkih sistema čine proizvodne sisteme nedovoljno efektivnim a njihovo poslovanje nedovoljno ekonomičnim i produktivnim. Traženje rešenja u savremenoj industriji za smanjenje intenziteta habanja ključnih elemenata proizvodne i druge opreme neprekidno traje, a u tom procesu primena postojećih i razvoj novih triboloških znanja doprinose veoma mnogo. Kao što je poznato razvoj triboloških procesa i procesa habanja na elementima tribomehaničkih sistema funkcija je ogromnog broja faktora koji definišu uslove pod kojima se kontakt između dva elementa ostvaruje i samu prirodu materijala u kontaktnim slojevima. Pristup rešavanju triboloških problema mora stoga biti dovoljno sistematičan i širok jer u protivnom može doći do velikih grešaka u nađenim rešenjima, odnosno može doći do rešenja koja su daleko od optimalnih u određenim uslovima. Do velikih grešaka pri rešavanju triboloških problema dolazi, najčešće, zbog zanemarivanja nekih važnih faktora koji definišu uslove pod kojima se kontakt ostvaruje i samu prirodu kontakta.

Tribološki problemi su, u osnovi, interdisciplinarnog karaktera, što znači da je za njihovo rešavanje potrebno raspolažati širokim spektrom znanja, počev od fizike i hemije pa preko tehnike sve do ekonomije. Očigledno je da u jednoj ličnosti teško može biti sakupljeno znanje ovako širokog spektra. Zbog toga se smatra da najbolja tribološka rešenja nalaze timovi sastavljeni od stručnjaka iz različitih naučnih i stručnih oblasti koji istovremeno poz-

naju i osnovnu problematiku tribologije.

Bez obzira na veliku raznovrsnost tribomehaničkih sistema u industriji prerade metala i privredi uopšte moguće je izgraditi jedan zajednički sistemski pristup rešavanju triboloških problema u njima. Naime, pri analizi svakog tribomehaničkog sistema, bez obzira na vrstu, neophodno je razmotriti tri grupe faktora i to:

- Grupu faktora koji definišu uslove pod kojima se ostvaruje kontakt između dva elementa tribomehaničkog sistema (brzina relativnog kretanja, opterećenje, temperature u zoni kontakta, vrsta kretanja, vreme kontakta i sl.).
- Grupu faktora koji definišu strukturu tribomehaničkog sistema (broj i vrste elemenata, geometrija kontakta, materijali elementa i sl.).
- Grupu faktora koji definišu tribološke karakteristike elemenata tribomehaničkih sistema.

Vreme trajanja funkcionsanja tribomehaničkog sistema zavisi od sve tri grupe faktora, ali isto tako i od kriterijuma pohabanosti pojedinih elemenata sistema pri kojima sistem gubi svoju sposobnost za obavljanje predviđene funkcije. Na primer, tribomehanički sistem koji se sastoji iz predmeta obrade, alata i sredstva za hlađenje i podmazivanje funkcioniše sve dotle dok rezni alat, kao jedan od elemenata sistema ne dostigne kritičnu pohabanost koja prouzrokuje smanjenje tačnosti obrade, loš kvalitet obrađen površine i sl., odnosno pri kojoj izlazne veličine iz sistema ne odgovaraju postavljenim zahtevima.

Prva grupa faktora koji definišu uslove pod kojima se kontakt u tribomehaničkim sistemima ostvaruje veoma retko ima konstantnu vrednost u dužim vremenskim intervalima radi tri-

bo-mehaničkih sistema. Po pravilu, tribomehanički sistemi funkcionišu u uslovima koje karakterišu različite brzine relativnog kretanja, različita opterećenja, različite temperature u zoni kontakta, itd. Na primer, jedno kotrljavajuće ležište na glavnom vretenu alatne mašine obrće se u jednom vremenskom periodu (dok traje obrada jedne proizvodne operacije) sa brojem obrtaja n_1 .

Pri promeni proizvodne operacije broj obrtaja glavnog vretena, pa prema tome i kotrljavajućeg ležišta (vnutrašnjeg prstena i kotrljavajućih elemenata) se menja i iznosi n_2 . Ovaj broj obrtaja može biti veći ili manji od prethodnog u zavisnosti od vrste proizvodne operacije u kojoj se koristi. Ako se na proizvodnoj mašini obavlja u dužem vremenskom periodu (na primer jednoj godini), više proizvodnih operacija onda će biti potrebno da se i kotrljavajuće ležište obrće različitim brojevima obrtaja odnosno relativne brzine između njegovih elemenata biće različite. Drugim rečima uslovi pod kojima se ostvaruje kontakt u tribomehaničkim sistemima ove vrste menjaju se u toku godine u zavisnosti od režima eksploatacije proizvodne i druge opreme u kojoj su oni sadržani.

U sistematskom pristupu rešavanju triboloških problema na faktore ove grupe ne treba, dakle, gledati kao na faktore koji imaju konstantnu vrednost već na faktore čija se vrednost kreće u određenim granicama (minimum, maksimum). Veoma je bitno pri tome ustaviti vrednost ovih faktora koja se najčešće (ili najduže vreme) javlja u tribomehaničkim sistemima.

U prvu grupu faktora svrstavaju se najčešće:

- vrsta relativnog kretanja (klijanje, kotrljanje, udar i sl.)
- opterećenje u zoni kontakta,
- brzina relativnog kretanja jednog elementa po drugom,
- vreme trajanja kontakta,
- temperatura u zoni kontakta, i sl.

Identifikacija uslova ostvarivanja kontakta predstavlja osnov za iznalaženje rešenja triboloških problema i od nje se u sistemskom prilazu ovoj problematici uvek polazi.

Druga grupa faktora definiše strukturu tribomehaničkog sistema. Pod strukturu tribomehaničkog sistema podrazumevaju se elementi siste-

ma, njihove fizičko - hemijske i druge karakteristike i priroda interakcije između elemenata.

$$S = \{ E, K, I \}$$

E — elementi sistema,
K — karakteristike sistema,
I — vrsta interakcije između elemenata sistema.

Pod elementima turbo - mehaničkih sistema podrazumevaju se, po pravilu, pokretni element 1 koji se u odnosu na nepokretni element 2 kreće relativnom brzinom *v*. Nepokretnost elementa 2 je relativna, jer se on u mnogim slučajevima kreće ali manjom brzinom ili brzinom suprotog smera od brzine kretanja elementa 1. Treći element triba - mehaničkog sistema je sredstvo za podmazivanje, koje često pored uloge podmazivanja obavlja i ulogu hlađenja zone kontakta. U literaturi se može naići na mišljenja da svaki osnovni triba - mehanički sistem sadrži četiri elementa, pri čemu se pod četvrtim elementom podrazumeva atmosfera (okolina) u kojoj se kontakt ostvaruje. U procesnoj industriji, na primer, okolina u kojoj se ostvaruje kontakt između dva elementa triba-mehaničkih sistema može biti ispunjena različitim elementima (gasovima, kiselinama i sl.), tako da se u takvim situacijama može opravdano uvesti i razmatranje i okolina kao četvrti element triba - mehaničkih sistema. U industriji prerade metala, međutim, kontakt između dva elementa ostvaruje se u okolini ispunjenoj vazduhom tako da se, po mišljenju autora, broj elemenata triba - mehaničkih sistema sadržani u proizvodnoj i drugoj opremi može svesti na tri.

Karakteristike elemenata triba-mehaničkih sistema dele se u dve grupe i to:

- karakteristike koje govore o geometrijskim, fizičko - hemijskim i struktturnim osobinama elemenata 1 i 2.
- Karakteristike koje govore o mikrogeometriji kontaktnih površina i struktturnim osobinama površinskih slojeva elemenata 1 i 2.
- Karakteristike koje govore o fizičko - hemijskim osobinama i prirodi trećeg elementa triba - mehaničkog sistema (sredstva za podmazivanje).

Kao karakteristike elemenata tribomehaničkog sistema najčešće se navode:

- nominalna površina kontakta,
- hemijski sastav elemenata 1 i 2,
- tvrdoća kontaktnih slojeva,
- struktura kontaktnih slojeva,
- hrapavost kontaktnih površina,
- kriva nosivosti profila kontaktne površine,
- vrste završne obrade kontaktne površine,
- vrsta i priroda maziva,
- viskozitet maziva, itd.

Interakcija između sva tri elementa triba - mehaničkog sistema može da bude veoma značajna za razvoj triboloških procesa i procesa habanja, tako da je neophodno pri rešavanju triboloških sistema izvršiti i njenu identifikaciju.

Ova identifikacija sadrži uočavanje vrste trenja (trenje klizanja, trenje kotrljanja), vrste mehanizma habanja (abrazivno, atheziono, tribi - hemijsko, zamorno), vrste podmazivanja (kontinualno, prekidno, hidro - dinamičko, granično i sl.).

Posle identifikacije prirode kontakta i uslova ostvarivanja kontakta sa ovog aspekta, neophodno je razmotriti i moguće interakcije između elemenata. Npr., sredstvo za podmazivanje može da, u procesu ostvarivanja kontakta, hemijski reaguje sa elementima 1 i 2 i da stvara prevlake koje u značajnoj meri utiču na razvoj procesa habanja. Prenos masa sa elementa 1 na element 2 i obratno (difuzijom ili athezijom) može takođe da menja osobine kontaktnih slojeva oba elementa i na taj način ubrza ili uspori razvoj procesa habanja.

Treća grupa faktora odnosi se na tribološke karakteristike svih elemenata triba - mehaničkih sistema. Broj faktora koji definiše tribološke karakteristike elemenata triba - mehaničkih sistema je veoma mali. Tribološke karakteristike sva tri elementa govore o njihovoj sposobnosti za usporavanjem procesa habanja u kontaktne slojeve, odnosno govore o veku trajanja

elemenata 1 i 2. Tribološke karakteristike definišu se, obično, preko sledećih veličina:

- vreme trajanja kontakta do pojave kritične pohabanosti jednog elementa tribi - mehaničkih sistema (u minutima ili časovima),
- otpornost na habanje (u minutama po mm),
- intenzitet habanja (u mm/min).

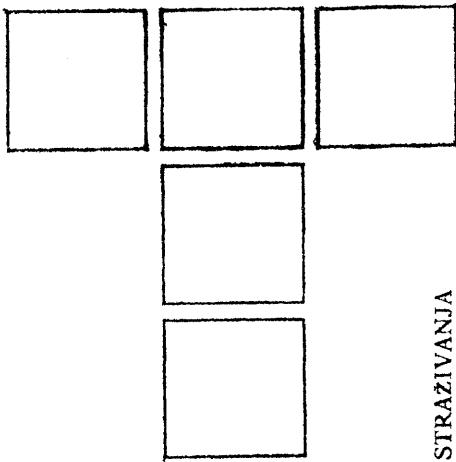
Vreme trajanja kontakata do pojave kritične pohabanosti jednog elementa tribi - mehaničkih sistema zavisi od intenziteta habanja i otpornosti elemenata na habanje. Međutim, sve ove veličine funkcija su ogromnog broja faktora koji definišu uslove pod kojima se kontakt ostvaruje a koji se odnose na strukturu sistema i na uslove pod kojima se tribomehanički sistem eksplatiše. Drugim rečima, tribološke karakteristike elemenata tribi - mehaničkih sistema funkcija su svih onih faktora koji su svrstani u prve dve grupe.

Pod faktorima treće grupe podrazumevaju se, najčešće, sledeći elementi:

- izbor kritičnog elementa sistema (kritičnog sa gledišta habanja),
- izbor parametra habanja (zapreminski, površinski, linijski),
- izbor kritične veličine parametra habanja,
- kriva habanja u određenim uslovima ostvarivanja kontakta,
- kriva otpornosti na habanje u određenim uslovima ostvarivanja kontakta, i
- kriva intenziteta habanja u različitim uslovima ostvarivanja kontakta.

Da bi se rešavali tribološki problemi koji se pojavljuju u proizvodnoj i drugoj opremi u industriji prerade metala neophodno je, očigledno, posle identifikacije osnovnih tribi - mehaničkih sistema identifikovati i sve tri grupe faktora koji definiše uslove ostvarivanja kontakta kao i samu prirodu kontakta. Rešavanje triboloških problema zanemarivanjem bilo kog faktora iz bilo koje grupe ne dovodi nikad do optimalnih rešenja.

M. KOKIĆ*



Trošenje alata pri obradi odlivaka u serijskoj proizvodnji većeg obima

ISTRAGIVANJA

UVOD

Primena odlivaka kao polufabrikata u metaloprerađivačkoj industriji je dosta zastupljena. Posebno veliku primenu našli su odlivci kod delova složene konfiguracije, kaka je većina delova u savremenoj proizvodnji putničkih automobila.

Razvojem tehnologije livenja, moguće je izraditi odlivke u željenim tolerancijama mera i oblika, dok se mehaničke karakteristike sve više poboljšavaju, pa uz primenu konstruktivnih ojačanja mogu se koristiti i za dosta opterećene delove uz izbor adekvatne vrste i kvaliteta materijala odlivka. Za potrebe proizvodnje putničkih automobila u Kragujevcu u okviru OOUR-a »Mehanička obrada« Fabrike automobila »Zastava«, SOUR-a ZCZ organizovana je obrada velikih serija odlivaka. Obim ovih serija se kreće od 17.000 pa do preko 450.000 komada odlivaka godišnje zavisno od vrste pozicije. Obrada se izvodi na četrdeset i jednom međusobno različitim odlivku, čiji je ukupan broj po planu za 1981. godinu iznosio 4.750.700 komada a masa 8.768.292 kg za čiju je nabavku trebalo izdvojiti preko 500 miliona dinara.

U strukturi polufabrikata koji se mehanički obrađuju u ZCZ za putničke automobile, (koju čine odlivci, otkovci, šipke i cevi) odlivci učestvuju sa 42%.

Za potrebe putničkih automobila, odlivci se izrađuju od crnog temper liva CTel 45, nodularnog liva NL 50, sivog liva SL 26 i od silumina TAISi 12 i TAISi8Cu3 i ugrađuju se u sklopove menjača, diferencijala, upravljača i vešanja putničkih vozila i u zadnji most vozila 125P koji se radi kroz međunarodnu industrijsku kooperaciju sa poljskom motornom industrijom.

Isporuku odlivaka vrši 5 livnica od čega su dve iz sastava SOUR-a ZCZ. Zavisno od primene, odlivci su veoma različitih gabarita i mase. U strukturi mase svih odlivaka, najviše je odlivaka od sivog liva (46,95%), pa odlivaka od temper i nodularnog liva (29,61%) i na kraju od silumina (23,44%).

Zavisno od namene i konstruktivnih zahteva, različit je i stepen obrade odlivka. Ako se kao parametar stepena obrade uzme odnos površine odlivaka koja se obraduje rezanjem i ukupna površina, proizilazi da se obraduje minimalno 20% a prosečno oko 50% ukupne površine odlivaka. Masa skinute strugotine pri obradi odlivaka rezanjem iznosi u proseku oko 20% od mase neobradenog odlivka a pojedinačno gledajući, kreće se od 4,3% do 54,5%. Pokazatelj stepena obrade odlivka preko mase skinute strugotine pri rezanju, može objektivno da da ocenu o pravilnom dimenzionisanju odlivka i projektovanju adekvatnih dodataka za obradu, imajući pri tome u vidu i veličinu obrađene površine.

* Podaci o autoru dati u časopisu »Tribologija u industriji« br. 3, 1980.

Inače u strukturi mase skinute strugotine pri obradi rezanjem svih vrsta polufabrikata, strugotina od odlivaka učestvuje sa 40%. Masa strugotine pri obradi odlivaka iznosi godišnje blizu 2.000.000 kg. U ovoj masi strugotine, najveće je učešće strugotine od sivog liva i iznosi 61,79%, zatim od tvtemper liva sa 26,62%, silumina 10,20% i nodularnog liva 1,39%. S obzirom na visoke serije, dnevno se pri obradi odlivaka skida rezanjem preko 7.000 kg strugotine, pri čemu na strugotinu pri obradi doboša i diska kočnica od sivog liva otpada 50% ukupne mase strugotine. Nesumnjivo je da pri obradi rezanjem, za ovako veliku količinu strugotine treba upotrebiti znatnu količinu reznih alata.

STRUKTURA I TROŠENJE ALATA PRI OBRADI ODLIVAKA

Obrada odlivaka se izvodi sa različitim vrstama reznog alata, zavisno od vrste proizvodne operacije. Više od polovine odlivaka su nesimetričnog oblika (58,54%) što usmerava na izbor pretežno specijalne opreme i alata. Zavisno od perioda nabavke, različit je i tehničko-tehnološki nivo opreme. Međutim, rezni alati i na opremi starije koncepcije su relativno savremeni, jer su neprekidno uvođeni novi rezni alati.

Za obradu svih odlivaka, koja je za putničke automobile organizovana u ZCZ, od ukupno 337 proizvodnih operacija, na 237 se obrada vrši rezanjem. Broj reznih alata po jednoj operaciji obrade odlivka rezanjem se kreće od 1 do 48, zavisno od vrste operacije i projektovane opreme a prosečno ima oko 10 reznih alata po operaciji.

Za sve operacije obrade rezanjem, ukupno jenovremeno učestvuje 2459 komada reznih alata, od čega je jedan broj međusobno potpuno istih reznih alata koji međutim ne vrše rezanje pod istim uslovima kao što su dubina rezanja, dužina rezanja, prekidan ili neprekidan rez, brzina rezanja, brzina pomoćnog kretanja itd.

Sistematisovani podaci o reznim alatima za obradu odlivaka dati su u tabeli br. 1. Vidi se da je brojčano najviše alata za obradu otvora, koji u strukturi svih alata učestvuju sa 31,84%. Ako se ovome dodaju alati za urezivanje navora u otvorima i alati za proširivanje otvora koje se vrši pomoću noževa sa zalemlijenim pločicama od tvrdog metala i okretnim pločicama od tvrdog metala sa mehaničkim stezanjem, proizilazi da su alati za obradu otvora još više zastupljeni. Alati za obradu glodanjem učestvuju sa 24,68% a ovo relativno veliko učešće je zato što se obrada pretežno izvodi pomoću specijalnih nosaća (glodačkih glava) sa mehanički stegnutim okretnim pločicama od tvrdog metala ili sa noževima sa zalemlijenim pločicama od tvrdog metala. Broj ovih reznih alata zavisno od tipa njihovog nosača, kreće se od 3 pa do preko 20 komada. Na izvesnom broju mašina koriste se po dve glodačke glave, pri čemu

TABELA 1

Alati po vrsti obrade	Vrsta reznog alata	Specij. rezni alat (kom)	Standardni rez. al. (kom)	Ukupan br. rez. alata (kom)	Proc. učešće alata (%)	Broj al. po vrsti obrade (kom)	% učešće alata po vrsti obrade
Alat za bušenje, proširivanje, upuštanje, razvrtanje, i čeono povravljivanje	Burgije Proširivači Upuštači Razvrtiči Čeoni upušt.	391 61 129 108 31	23 — 40 — —	414 61 169 108 31	16,84 2,48 6,87 4,39 1,26	783	31,84
Alati za navoj	Ureznici Češljevi za navoj Pločice za navoj od TM	129 13 —	17 — 1	146 13 1	5,93 0,53 0,04	160	6,5
Alati za spoljne, unutr. i čeono struganje i proširivanje otvora	Noževi sa zalem. pl. od TM Rezne ploč. od TM Keramičke rezne pločice	281 25 —	— 481 11	281 506 11	11,44 20,58 0,44	798	32,46
Alati za glodanje	Rezne ploč. od TM za glodačke glave Noževi sa lemljenim ploč. od TM za glod. glave Glodalica Odvalna glod.	— — 98 32 2	474 — 1 — —	474 98 33 2	19,28 3,98 1,34 0,08	607	24,68
Alati za brušenje i honovanje (glačanje)	Tocila Segmenti za honovanje	— —	14 12	14 12	0,57 0,49	26	1,06
Alati za provlačenje	Provlakač za unutr. provl. Provlakači za spoljne pr.	1 58	— —	1 58	0,04 2,36	59	2,40
Alati za ručnu obr.	Turpije i grebači	—	26	26	1,06	26	1,06
UKUPNO		1359	1100	2459	100	2459	100

jedna vrši prethodnu (grubu) a druga završnu (finu) obradu, pa broj reznih alata za jednu operaciju glodanja može biti preko 40 komada.

Rezni alati za obradu odlivaka su rađeni većinom kao specijalni i njihovo učešće iznosi 55,26%. Od navedenih 1100 standardnih reznih alata (44,74%), najveći broj se odnosi na okretne rezne pločice od tvrdog metala i rezne keramike, tako da je mali broj klasičnih standardnih reznih alata.

Prema podacima za domaću metaloprerađivačku industriju u strukturi primjenjenih materijala za rezne alate najveć je učešće brzoreznog čelika sa 69%, tvrdog metala 30% a svih drugih materijala do 1%. Međutim, u strukturi materijala alata za obradu odlivaka, najveće je učešće tvrdog metala sa čak 60% a brzoreznog čelika ispod 38%. Alatni čelik se koristi isključivo za pomoćne ručne alate (turpije, grebači i sl.) i učestvuje sa 1,06% a isto učešće je i materijala alata za brušenje i honovanje. Rezna keramika u vidu okretnih reznih pločica od čiste i mešane keramike zastupljena je sa 11 kom. odnosno 0,44% u strukturi alata za obradu odlivaka, uz napomenu da je do skora korišćena samo jedna keramička rezna pločica.

U sledećem periodu u domaćoj metaloprerađivačkoj industriji treba očekivati dalje uvođenje tvrdog metala u područje primene gde se sada široko koristi brzorezni čelik a u procesu obrade odlivaka očekuje se dalje uvođenje podred tvrdog metala i rezne keramike zašta je potrebno stvoriti određene preduslove.

Ovakva struktura reznih alata po vrsti materijala od koga su izrađeni, gde je najviše zastupljen tvrdi metal, omogućava da se pri obradi odlivaka postave oštiri režimi obrade u odnosu na ranije više primenjivani brzorezni čelik. Na taj način moguće je obraditi više odlivaka u jedinici vremena uz veću stabilnost obradnog sistema i manji broj otkazivanja u toku obrade.

Razvoj savremenih reznih alata usmeren je ka pomjeranju granice postojanosti u uslovima obrade sa većim brzini

nama rezanja i pomoćnog kretanja i prisustva viših temperaturi u zoni rezanja. Ovo se ostvaruje bilo usavršavanjem tehnologije izrade i iznalaženjem optimalne geometrije reznog kline na postojećim vrstama materijala reznih alata, ili se pak uvode novi rezni materijali (dijamant, bornitrid itd.).

Naime, trošenje (habanje) reznih alata pri obradi nastaje kao posledica prisustva i razvoja triboloških procesa u zoni rezanja. Ovi su procesi posebno izraženi na kontaknim površinama između leđne površine reznog kline i predmeta obrade, kao i između grudne površine i stvorene strugotine. Intenzitet razvoja triboloških procesa na reznom alatu umnogome zavisi od uslova u kojima se obrada izvodi. Veće relativne brzine između kontaktnih parova, veći specifični pritisci i više temperature na reznom alatu dovode do bržeg razvoja triboloških procesa i intenzivnijeg habanja alata. Usporavanje razvoja triboloških procesa a time i habanja alata u znatnoj meri je moguće uvođenjem optimalne vrste i koncentracije sredstva za hlađenje i podmazivanje (SHP) u zonu rezanja.

Projektovanje optimalnih uslova obrade rezanjem je kompleksan zadatak kako sa tehničko-tehnološkog, tako i sa ekonomskog aspekta. Da bi se postavili optimalni uslovi obrade, neophodno je upoznati tribološke procese, intenzitet njihovog razvoja za razne uslove i pod dejstvom različitih uticaja kao i moguće mere u cilju usporavanja uticaja triboloških procesa. Za proizvodnu praksu gde se ovakva istraživanja nedovoljno i retko vrše u ozbilnjem obimu, značajno je bar utvrditi u kome momentu alat dostiže kritičnu zastupljenost i kada više ne može da vrši funkciju, što izaziva potrebu njegove zamene i preduzimanje mera za njegovu regeneraciju. Presudan uticaj za izbor adekvatnih uslova obrade treba da ima ekonomski aspekt, jer obrada uz zadovoljeno traženog obima proizvodnje i uz najmanje troškove obrade i proizvodnje je cilj i zadatak svake proizvodne osnovne organizacije udrženog rada.

TROŠKOVI REZNIH ALATA I NJIHOVO UČEŠĆE U STRUKTURI VREDNOSTI OBRADE I PROIZVODNJE U OBRADI ODLIVAKA

Jedna od najefikasnijih mera za stalno povećanje dohotka je preko smanjenja troškova poslovanja. Troškovi alata, zavisno od specifičnosti proizvodnog sistema, mogu da imaju znatan iznos i veliko učešće u strukturi vrednosti obrade i proizvodnje osnovne organizacije udruženog rada, pa je neophodno problematički poslovanja sa alatom pokloniti potrebnu pažnju. Preduzimanjem tehničko-tehnoloških i organizacijskih mera moguće je ove troškove svesti u ekonomski prihvratljive okvire. Troškovi alata se ne smiju analizirati lokalno sami za sebe, već u okviru učešća u vrednosti obrade. Naime, najniži troškovi alata ne moraju istovremeno izazvati i najnižu vrednost obrade i proizvodnje.

Tako na primer, obrada sa nižim brzinama rezanja i pomoćnog kretanja može da dovede do povećanja postojanosti reznog alata a time do manjih troškova alata, ali bi došlo do povećanja troškova amortizacije mašina i vrednosti rada direktnog radnika svedeno na jedinicu proizvoda ili operaciju jer bi se proizvelo manje jedinica za isti period. Iznašenje oblasti minimalne vrednosti obrade i proizvodnje može da ukaže na moguće pravce delovanja.

Izračunavanje troškova alata vrši se po metodologiji koja je već prezentirana u prethodnim brojevima ovoga časopisa.

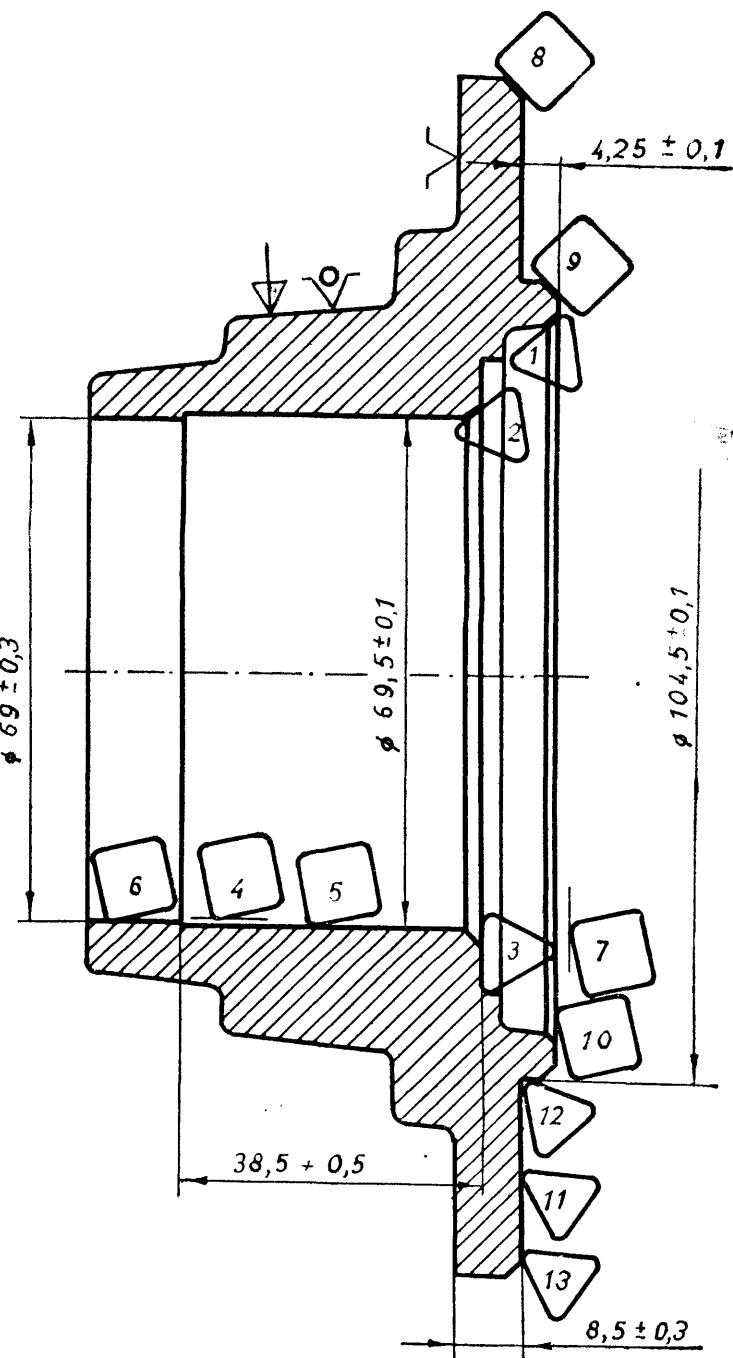
U proizvodnom procesu obrade odlivaka, gde je kako je već navedeno, u upotrebi veliki broj reznih alata, izračunavanje troškova alata je dosta obiman i složen posao. Teškoće se sastoje pre svega u tome, što ne postoje sistematizovani podaci o prosečnoj postojanosti reznih alata i broju oštrenja, osim za izvestan broj skupljih reznih alata za odvalno glodanje i provlačenje. Za realne proizvodne uslove karakteristično je da ima dosta poremećaja proizvodnog procesa kao što su iznenadne havarije i oštećenja reznih alata iz više razloga, sa direktnim uticajem na visinu troškova alata.

Na visinu troškova alata posebno utiče:

- postavljeni nivo tehnologije proizvodnog sistema,
- stepen modernizacije i savremenost proizvodne opreme kao i kvalitet održavanja proizvodne opreme,
- veličina površine koja se obraduje i masa skinute strugotine pri obradi rezanjem,
- tehnologičnost konstrukcija predmeta obrade,
- projektovanje ekonomičnih režima obrade (brzine rezanja i pomoćnog kretanja),
- nivo konstrukcije i geometrije reznih alata i primena savremenih reznih materijala za alate,
- stepen primene standardnih i unificiranih reznih alata,
- nabavna vrednost i način nabavke alata i njegove tribološke karakteristike,
- nivo organizacije poslovanja sa reznim alatom, posebno kvalitet regeneracije i nivo zaliha,
- nivo eksploracije alata u proizvodnim radnim uslovima i pridržavanje propisane tehnološke i radne discipline,
- vrsta, kvalitet sa tribološkog aspekta i koncentracija SHP,
- stabilnost sistema mašina — stezni pribor — rezni alat — predmet obrade,
- vrsta i kvalitet materijala polufabrikata i posebno obradljivost polufabrikata itd.

Izračunavanje troškova alata za obradu odlivaka vrše se za svaki rezni alat pojedinačno, jer i pored činjenice da od 2.459 reznih alata ima veliki broj međusobno potpuno istih, oni ne vrše obradu u istim uslovima. Iz tih razloga

ako se za izvođenje jedne proizvodne operacije koristi veci broj međusobno istih reznih alata, neophodno je pored njihove zajedničke oznake (šifre) uvesti i pojedinačne interne oznake na primer 1-n zavisno od konkretnih uslova u kojima taj rezni alat vrši obradu. Neophodnost ovakvog prilaza može se ilustrativno prikazati na primeru obrade odlivka poklopca kućišta diferencijala vozila Z 101, 102 i 128 na početnoj operaciji obrade struganjem. Na slici broj 1 gde je data skica ove operacije, prikazano je svih 13 reznih alata (okretnih reznih pločica od tvrdog metala) na mestima gde vrše obradu pri čemu svaka pločica ima svoju internu oznaku. Podaci o ovim reznim pločicama kojih ima 4 različite vrste, zatim podaci o uslovima obrade svake od 13 reznih pločica posebno i ostvarenoj prosečnoj postoj-



Slika 1. — Šema obrade odlivaka poklopca diferencijala vozila »zastava« 101, 102 i 128 od temper liva

nosti po jednom reznom vrhu, kao i troškovima alata za svaku pločicu po jednom obrađenom odlivku i zbirno, sistematizovani su u tabeli br. 2. Iako su na primer, rezne pločice interni br. 2 i 3 međusobno potpuno iste, pločica br. 1 ima oko 10 puta manju prosečnu postojanost i srazmerno veće troškove, jer ova rezna pločica reže velikom širinom rezne ivice (oko 7 mm) što je nepovoljno za njen ukupni vek eksploatacije. Slična razmatranja mogu se vršiti i za parove međusobno istih pločica 4 i 5; 7 i 10; 11 i 13 gde prva pločica vrši prethodnu (grubu) obradu a druga završ-

nu (finu). Navedena operacija se izvodi na 3 vretena osmovoretenog automatskog struga a na četvrtom se vrši postavljanje odlivka i skidanje obrađenog odlivka. Na ostala 4 vretena obraduje se kutija diferencijala. Interno označeni rezni alati od 1 do 6 i 12 su na uzdužnom suportu a r. br. 7 do 11 i 13 na poprečnom. Rezne pločice ulaze u zahvat po sledećem redosledu: 4, 11, 7 i 1 na vretenu u položaju br. 2, 5, 12, 2, 8 i 9 na vretenu u položaju br. 4 i 6, 13, 10 i 3 na vretenu u položaju br. 6. Ovakva analazia troškova svakog pojedinačnog alata pruža mogućnosti da se rad od-

TABELA 2

Inter. broj reznog alata	Naziv, oznaka, dimen- zije, br. reznih ivica, materijal, šifra, cena i proizvođač reznog ala- ta	Brzină rezanja V (—) m/min	Posm. s (—) mm ob.	Dub. rez. a (mm)	Duž. rez l (mm)	Broj komada između dve promene alata Z (kom.)	Mera i toleranc. ko- ju alat ostvaruje (mm)	Trošk. alata A din (—) oper.
1	Rezna pločica TPU 322 16 03 08	77	0,246	1	1	703	1/45°	0,016
2	3 rezne ivice UV 10 669835311	55	0,122	0,5	0,5	1363	0,5/45°	0,008
3	C _a = 34,40 din. Sintal — Zagreb	67	0,246	2	2	136	Ø 85 ± 0,3	0,084
4	Rezna pločica SPU 422 12 03 08	54	0,246	3	38,5	173	Ø 68,5	0,054
5	4 rezne ivice UV 10 669835312	55	0,122	0,5	38,5	233	Ø 69,5 ± 0,1	0,040
6	C _a = 37,70 din. Sintal — Zagreb	54,5	0,246	2	15	173	Ø 69 ± 0,3	0,054
7	Rezna pločica SNU 422 12 03 08	83 do 77	0,176	1,5	5	233	4,75	0,017
8	8 reznih ivica UV 10 669835302	124	0,102	1,1	1	166	1/45°	0,023
9	C _a = 31,10 din. Sintal — Zagreb	83	0,102	0,5	0,5	166	0,5/45°	0,023
10		83 do 77	0,170	0,5	5	354	4,25 ± 0,1	0,011
11	Rezna pločica TNU 321 16 03 08	124 do 83	0,176	1,5	24	141	9	0,029
12	6 reznih ivica UV 10 669835301	83	0,122	1,5	4,25	145	Ø 104,5 ± 0,1	0,023
13	C _a = 24,90 din Sintal — Zagreb	124 do 83	0,170	0,5	24	354	8,5 ± 0,3	0,012
							UKUPNO	0,400

govarajućih tehničkih funkcija usmeri na alate čije je učešće troškova alata najveće, odnosno koji imaju najveći uticaj u strukturi vrednosti obrade.

Kako troškovi alata svedeni na jedinicu proizvoda, zavisno od vrste alata i uslova pod kojima vrše obradu imaju vrednosti u veoma širokim granicama, zanimljivo je utvrditi koliki su prosečni troškovi alata po jedinici mase skinute strugotine i jedinici zapremine skinute strugotine.

Prema vrednostima reznih alata iz sredine 1981. godine prosečni troškovi alata po 1 kg mase skinute strugotine svih vrsta materijala odlivaka pri obradi rezanjem iznose 9,28 dinara.

Zavisno od vrste materijala odlivaka ovi troškovi iznose:

<input type="checkbox"/> Sivi liv SL 26	4,291 din/1 kg
<input type="checkbox"/> Nodularni liv NL 50	4,244 din/1 kg
<input type="checkbox"/> Temper liv CTel 45	10,56 din/1 kg
<input type="checkbox"/> Silumin	19,79 din/1 kg

Odmah se može izvući zaključak, da su odlivci od sivog liva u proseku dosta obradljiviji od odlivaka od temper liva, jer su troškovi alata niži, a radi se o sličnim ili istim vrstama alata pa je upoređenje moguće. Na isti način se vidi, da troškovi alata pri obradi silumina imaju najvišu vrednost po 1 kg mase strugotine, ali je zapreminska masa (gustina) ovoga liva dosta niža, pa je interesantno videti koliki su troškovi alata po 1 dm³ skinute strugotine.

Prosečni troškovi alata za sve vrste materijala odlivaka po 1 dm³ skinute strugotine iznose 53,49 dinara a zavisno od vrste materijala odlivaka:

<input type="checkbox"/> Sivi liv SL 26	31,09 din/1 dm ³
<input type="checkbox"/> Nodularni liv	32,15 din/1 dm ³
<input type="checkbox"/> Temper liv CTel 45	79,23 din/1 dm ³
<input type="checkbox"/> Silumin	52,81 din/1 dm ³

Posmatrano i na ovaj način, proizilazi da su opet najniži troškovi alata kod obrade odlivaka od sivog liva, (troškove alata za obradu donularnog liva treba uzeti sa izvesnom rezervom jer se radi o samo jednom odlivku sa tri proizvodne operacije) a da su troškovi alata pri obradi silumina niži nego pri obradi odlivaka od temper liva.

Odstupanja od napred navedenih prosečnih troškova reznih alata su moguća i realno se sreću u praksi čak i u trostruko većem iznosu posebno kada je loša obradljivost odlivaka ili češći poremećaji proizvodnog procesa.

Dati tačan odgovor na pitanje koliki su troškovi reznih alata zavisno od vrste proizvodne operacije ili pak vrste rezogn alata je nemoguće bez merenja (utvrđivanja) količine skinute strugotine po svakom reznom alatu pojedinačno za svaku operaciju i odlivak što treba da bude poseban istraživački zadatak. Međutim, na osnovu globalnih sagledavanja sa dovoljnom tačnošću, može se reći da su troškovi alata koji obradu vrše struganjem u proseku najniži po 1 kg mase ili 1 dm³ zapremine skinute strugotine a troškovi alata za provlačenje i ozubljenje najviši.

Učešće troškova alata u strukturi vrednosti obrade za pojedine proizvodne operacije može biti zнатно. U strukturi prosečne vrednosti obrade V_o za proizvodne operacije obrade svih vrsta materijala odlivaka, bez obzira na to da li su operacije obrade rezanjem ili neke druge operacije, procentualno učešće pojedinih elemenata je sledeće:

<input type="checkbox"/> Vrednost rada direktnog radnika (BLD)	R = 23,07%
<input type="checkbox"/> troškovi alata	A = 13,36%
<input type="checkbox"/> troškovi amortizacije mašina	M = 52,94%
<input type="checkbox"/> troškovi SHP	SHP = 3,70%
<input type="checkbox"/> troškovi utrošene električne energije	E = 6,23%
<input type="checkbox"/> troškovi utrošenih fluida komprimiranog vazduha i vode)	KV+v = 0,70%

Zavisno od vrste materijala odlivaka, ova struktura po redosledu vrednosti elemenata se ne menja jer je i kod njih daleko najveće učešće M pa R a zatim sude A, E, SHP i na kraju fluidi. Međutim, vrednosti pojedinih elemenata se menjaju u okviru strukture u odnosu na prosek. Tako na primer, kod odlivaka od sivog liva učešće troškova alata u strukturi vrednosti obrade iznosi 17,2% a SHP čak 6,6% što je znatno više od proseka za sve vrste materijala odlivaka.

Prethodno prikazana struktura vrednosti obrade za sve proizvodne operacije bez obzira da li se kod njih vrši rezanje ili ne ima značaja, jer je to realna struktura na osnovu koje se završava neki proizvod jer pored operacija obrade rezanjem neophodne su i operacije spajanja, pranja, termičke obrade i druge pomoćne operacije pri obradi odlivaka.

Sa aspekta same obrade rezanjem, interesantno je analizirati strukturu vrednosti obrade samo za operacije gde se vrši rezanje a takvih operacija pri obradi odlivaka ima 237.

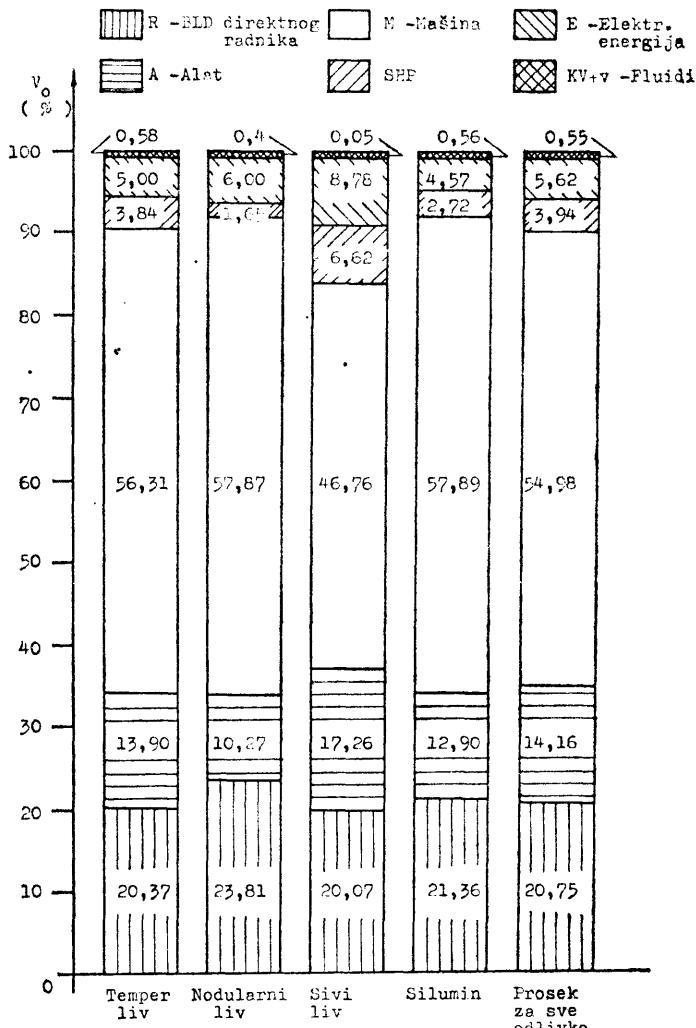
Učešće elemenata u strukturi vrednosti obrade za sve odlivke zbirno je sledeće:

<input type="checkbox"/> vrednost rada direktnog radnika (BLD)	R = 20,75%
<input type="checkbox"/> troškovi alata	A = 14,16%
<input type="checkbox"/> troškovi amortizacije mašina	M = 54,98%
<input type="checkbox"/> troškovi SHP	SHP = 3,94%
<input type="checkbox"/> troškovi električne energije	E = 5,82%
<input type="checkbox"/> troškovi fluida	KV+v = 0,55%

Učešće troškova amortizacije mašina sa 54,98% je kao posledica prvo velike revalorizovane vrednosti same opreme a takođe i zbog malog stepena iskorišćenja opreme. Oprema je bila slabo iskorišćena u 1981. godini (za koju je proračun i vršen) jer je podbačan plan putničkih vozila u koja se odlivci ugrađuju za više od 20% a mogućnost pojedine opreme je iznad postavljenog plana.

Ovako veliko učešće troškova amortizacije mašina je dovelo do izvesnog poremećaja odnosa u strukturi.

Učešće troškova alata umesto 14,16% bilo bi realno veće, što važi i za ostale elemente.



Slika 2. — Struktura prosečne vrednosti obrade za operacije obrade rezanjem, zavisno od vrste materijala odlivka

Ovo relativno nisko učešće troškova alata, dakle ne može se tumačiti isključivo pozitivnim merama koje se sprovođe u poslovanju sa alatom, mada je i to evidentno. Međutim u ovoj oblasti poslovanja sa alatom postoje uvek znatne rezerve pa ih treba iskoristiti.

Povećano učešće vrednosti rada direktnog radnika u odnosu na ranije periode, ne može se tumačiti kao mera boljeg vrednovanja proizvodnog rada, već je to pre posledica povećanja BLD u cilju održavanja životnog standarda u odnosu na sve veći porast troškova života, jer ustvari realni lični dohotci opadaju.

Struktura prosečne vrednosti obrade svih operacija gde se obrada odlivaka vrši rezanjem zavisno od vrste materijala odlivaka ilustrativno je prikazana na slici br. 2, gde je prikazana i struktura kao prosek za sve materijale odlivaka.

Navedene prosečne vrednosti elemenata strukture vrednosti obrade izračunate su za sledeći broj proizvodnih operacija obrade rezanjem po vrsti materijala odlivaka:

- | | |
|--|----------------|
| <input type="checkbox"/> Temper liv | 111 operacija, |
| <input type="checkbox"/> Nodularni liv | 3 operacije, |
| <input type="checkbox"/> Sivi liv | 40 operacija, |
| <input type="checkbox"/> Silumin | 83 operacije. |

Osim kod odlivaka kod nodularnog liva, ove prosečne vrednosti učešća elemenata vrednosti obrade mogu se smatrati reprezentativnim, imajući u vidu veliki broj operacija.

Sa slike br. 2 se vidi da učešće troškova alata, zavisno od vrste materijala odlivaka, iznosi od 10,27% kod odlivaka od nodularnog liva pa do 17,26% kod odlivaka od sivog liva.

Na prvi pogled može biti nelogično zašto je učešće troškova alata pri obradi odlivaka od sivog liva veće nego kod obrade odlivaka od drugih vrsta materijala kada se zna da su troškovi alata po jedinici mase skinute strugotine najniži za odlivke od sivog liva, ali kada se ima u vidu da učešće mase strugotine od sivog liva iznosi 61,79% u masi strugotine od svih vrsta materijala, vidi se da su rezultati realni.

Učešće troškova vezanih za potrošnju SHP u proseku od 3,94% i električnu energiju 5,62% nije za zanemarivanje, dok je učešće troškova fluida malo (u proseku 0,55%).

Kod obrade odlivaka od sivog liva učešće troškova SHP je čak 6,62% a energije 8,78%.

Visoko učešće SHP je proisteklo zbog visokih troškova SHP pri obradi odlivaka doboša kočnice od sivog liva na dve transver mašine čiji zajednički rezervoar sadrži do 56.000 l emulzije. U strukturi vrednosti obrade doboša kočnice za sva putnička vozila učešće SHP je preko 20% i veće je od učešća troškova alata.

Znatno učešće troškova električne energije je posledica pre svega velike instalisane snage mašina za obradu odlivaka od sivog liva, gde samo na primer veća transver mašina ima instalisanu snagu motora od blizu 300 KW.

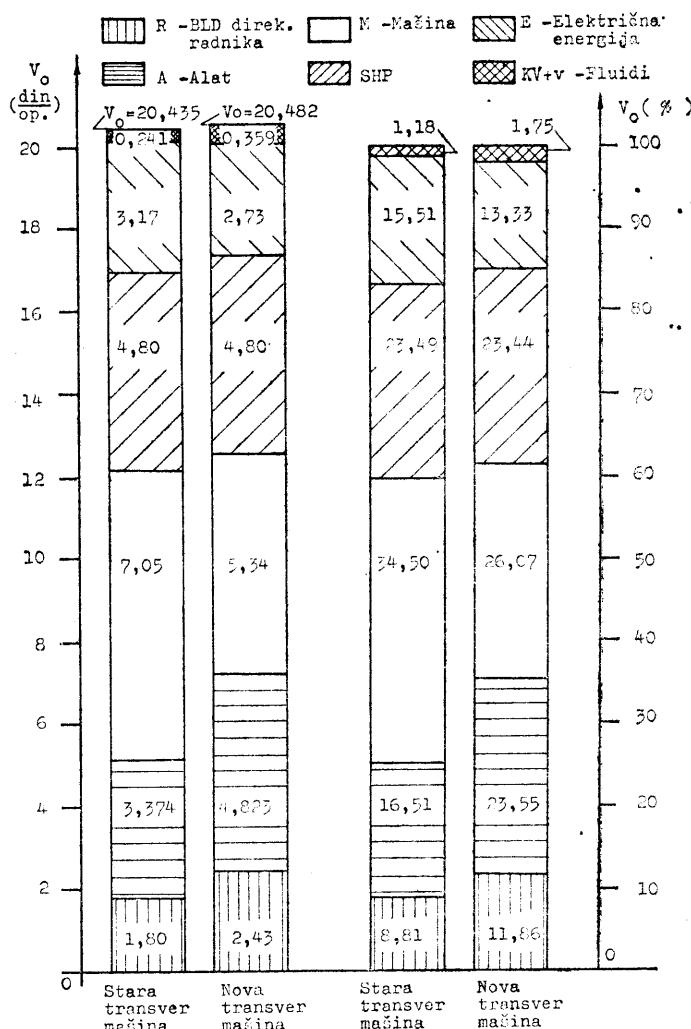
Nisko učešće troškova za SHP kod odlivaka od nodularnog liva je zato što se od 3 operacije obrade rezanjem, samo na jednoj koristi SHP a dve glodalice obradu vrše bez hlađenja i podmazivanja sa alatima od tvrdog metala.

Zavisno od vrste konkretnе operacije, primjenjenih alata i drugih uslova, pojedine operacije obrade odlivaka imaju učešće elemenata u strukturi vrednosti obrade koje znatno odstupa od navedenih proseka. Tako na primer kod operacija provlačenja učešće alata se kreće od 12 do 46% SHP učestvuje od 16 do 27% jer se koristi čisto rezno ulje.

Uticaj više nepovoljnih uslova pri izvođenju operacije glodanja odlivka od temper liva nosača rukavca vozila Z. 750 (nedovoljna stabilnost obradnog sistema, loša obradljivost površinskog sloja i obrada sa 48 kom. reznih pločica smeštenih u 4 glodačke glave) manifestovao se na povećano trošenje reznih alata pa učešće troškova alata u strukturi V_o iznosi čak 74,7%.

Loša obradljivost odlivaka od silumina za nosač kutije menjača vozila Z. 102 prouzrokovala je veće trošenje alata pa je na početnoj operaciji glodanja sa dve glodačke glave i okretnim pločicama od tvrdog metala učešće alata 43,3%. Učešće sličnog odlivka za vozilo Z. 101 i 128 na sličnoj opremi iznosi samo 10,7% jer su ovi odlivci normalne obradljivosti.

Učešće troškova alata na jedinoj operaciji ozubljenja venca kućišta diferencijala vozila Z. 101, 102 i 128 od temper liva iznosi 36,5% u strukturi V_o .



Slika 3. — Struktura vrednosti obrade kočnica od sivog liva na dve transver mašine

Struktura vrednosti obrade doboša kočnice svih tipova putničkih vozila iz osnovnog programa na staroj i novoj transver mašini u dinarima po operaciji i u procentima, data je na slici broj 3. I poređ činjenice da su transver mašine skupe, vidi se da učešće njihovih troškova amortizacije ima nižu vrednost od proseka.

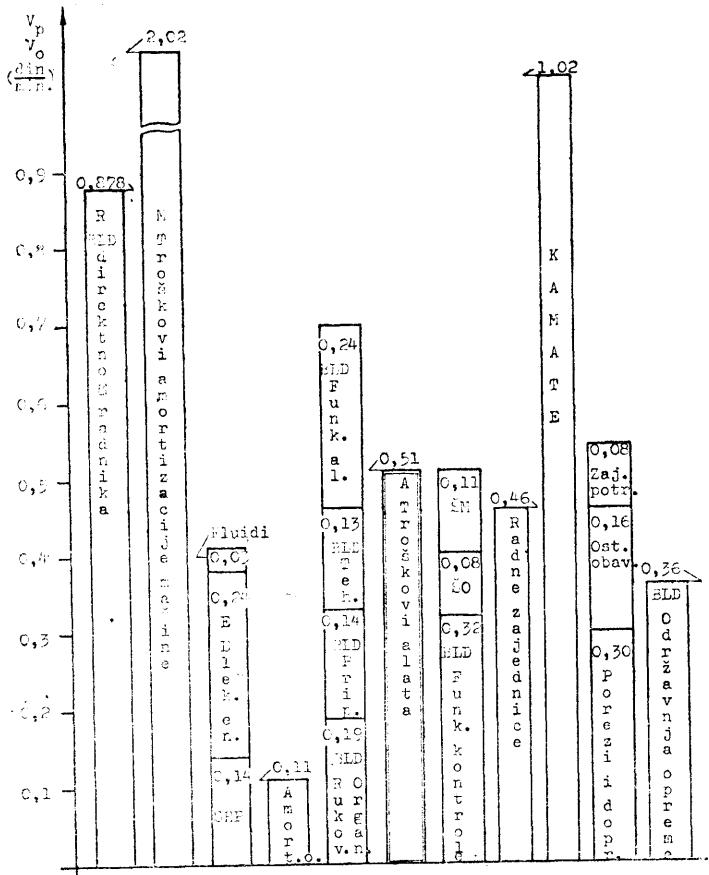
Učešće alata od 16,51% na staroj transver mašini i 23,55% na novoj je iznad proseka jer se pri obradi doboša skida čak 1,48 kg mase strugotine po svakom odlivku čija je obradljivost na solidnom nivou a troškovi alata po 1 kg mase skinute strugotine ispod proseka za odlivke od sivog liva.

U strukturi vrednosti proizvodnje V_p , troškovi alata za obradu odlivaka učestvuju u proseku sa 6,88% odnosno 0,51 dinar po minuti trajanja svake pojedinačne proizvodne operacije bez obzira da li se obrada vrši rezanjem ili ne, prema učešćima troškova za period I — IX 1981. godine.

Vrednosti elemenata strukture vrednosti proizvodnje i obrade u proseku za sve vrste materijala odlivaka i sve proizvodne operacije (ne samo obrade rezanjem), prikazani su na slici br. 4 u dinarima po minuti trajanja svake proizvodne operacije koja je izvedena u periodu I — IX 1981. godine.

Na prikazu iz slike 4 se vidi kakvo je opterećenje svake proizvodne operacije vrednostima BLD indirektnih radnika iz okvira osnovne organizacije udruženog rada, doprinosom radnim zajednicama, opterećenje kamata, doprinosima i porezima itd. Vidi se da ova opterećenja nisu mala i da u znatnoj meri umanjuju stvoreni dohodak osnovne organizacije udruženog rada.

Za razne vrste operacija koje se izvode na odlivku, učešće elemenata u strukturi vrednosti proizvodnje ima odstup-



Slika 4. — Prosečne vrednosti elemenata strukture vrednosti obrade i proizvodnje pri obradi odlivaka za period I — IX 1981. god.

panja u odnosu na prosek za sve odlivke zajedno, što je razumljivo imajući u vidu različitost operacija i samih odlivaka.

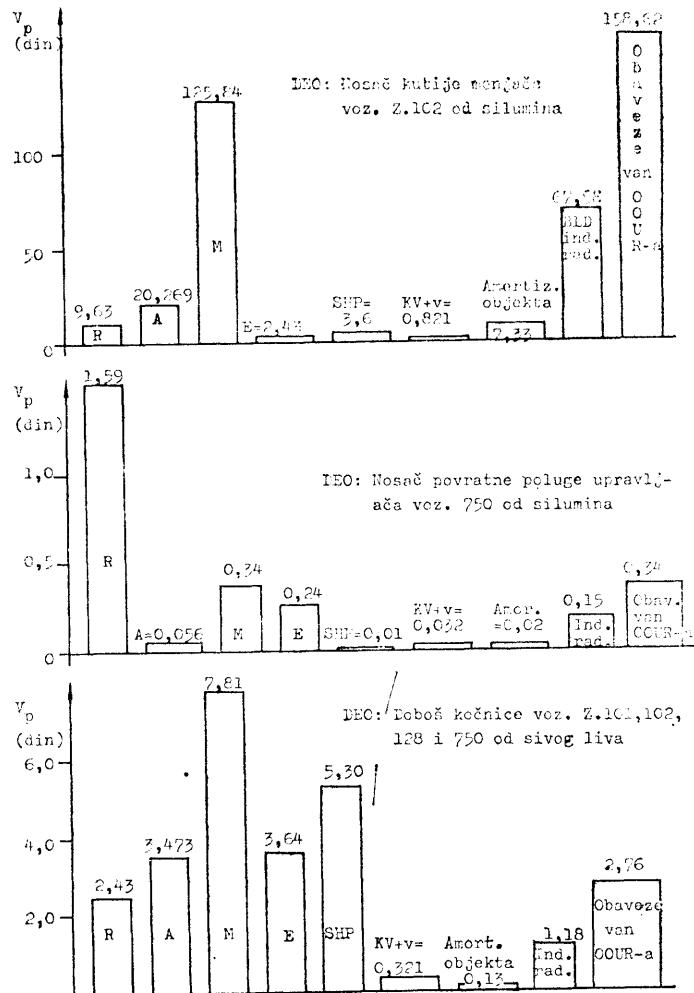
Ilustracije radi na slici br. 5 prikazana je struktura vrednosti proizvodnje za 3 različita kompletno obradena odlivka i sa vidno različitim vrednostima proizvodnje V_p i različitim iznosom i učešćem troškova alata. Raspodela dodatnih troškova doprinosi i obaveza na pojedine operacije, vršena je u navedenim primerima primenom koeficijenata formiranih na osnovu vrednosti obrade za sve operacije, ($k_o = V_o / V_{osr}$).

Iz tih razloga na slici 5 u prvom primeru obrade nosača kutije menjачa vozila Z. 102 gde je visoka vrednost obrade V_o (zbog visokih troškova amortizacije novih mašina koje su izrazito slabo iskorisćene u 1981. godini jer je vršeno uhodavanje proizvodnje vozila Z - 102) doveđa do visoke vrednosti koeficijenta k_o , pa su na ovaj deo u znatnoj meri raspodeljeni dodatni troškovi i doprinosi.

Takva raspodela dodatnih troškova a pogotovo vrednosti rada indirektnih radnika i doprinosa radnim zajednicama je objektivna, jer pre svega te funkcije treba da utiču na smanjenje izrazito visoke vrednosti obrade ovoga dela i to kako kroz obezbeđenje boljeg iskorisćenja kapaciteta mašina za ovaj deo, tako i preko smanjenja troškova alata jer je već navedeno da je odlivak ovoga dela loše obradjen itd.

ZAKLJUČAK

Nesumnjivo je da je za preduzimanje adekvatnih tehničko-tehnoloških, organizacijskih i rukovodnih mera u ci-

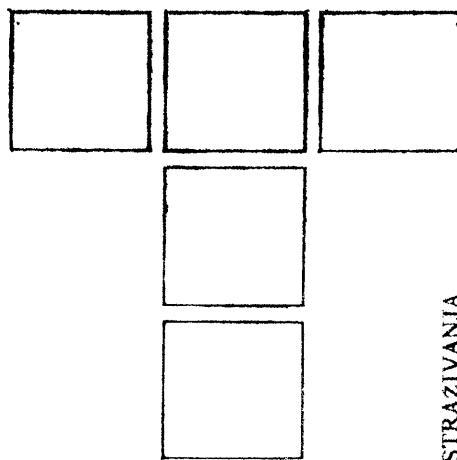


Slika 5. — Struktura vrednosti proizvodnje za 3 odlivka

lju smanjenja troškova a time povećanja dohotka, neophodno je poznavati strukturu vrednosti proizvodnje i obrade u elementarnom smislu. Ako se poznaje učešće svakog elementa u strukturi vrednosti obrade i proizvodnje za svaku proizvodnu operaciju, neće biti teško preduzeti prave potreze u cilju smanjenja istih po njihovoj značajnosti. Kako je već navedeno, troškovi alata pri obradi odlivaka imaju značajno učešće, pa njihovim smanjenjem, u punom iznosu tog smanjenja doći će do povećanja dohotka. Zato problematični poslovanja sa alatom treba pokloniti potrebnu pažnju zajedno sa analizom problematike vezane za primenu i izbor sredstava za hlađenje i podmazivanje a čije učešće u strukturi vrednosti obrade u poslednje vreme takođe zahteva šire razmatranje.

LITERATURA

1. B. IVKOVIĆ: Obrada metala rezanjem — izbor ekonomičnih režima rezanja, »Građevinska knjiga«, Beograd 1979.
2. R. MITROVIĆ, B. PAVLOVIĆ: Produktivnost i ekonomičnost u funkciji poslovanja sa reznim alatom, Zbornik radova »Produktivnost i ekonomičnost u industriji prerade metalâ«, Mašinski fakultet, Kragujevac, aprila 1981.
3. Ž. KNEŽEVIĆ, S. ARSOVSKI: Obradljivost sivog liva u funkciji uslova livenja, hemijskog sastava i modifikiranja pri obradi struganjem, Casopis Tribologija u industriji, godina III, br. 2, Kragujevac, avgust 1981.



Uticaj kvaliteta i hemijskog sastava površine alata na otpore isticanja pri istiskivanju aluminijuma

UVOD

Istiskivanje aluminiskih legura se vrši na temperaturi od oko 500 [°C] i specifičnom pritisku do 1000 [MPa]. Pri ovim uslovima od alata se traže sledeći zahtevi:

- da ne dođe do svarivanja — lepljenja aluminijske površine alata,
- da otpor tečenja metala bude što manji,
- da alat daje što kvalitetniju površinu proizvoda,
- da daje što duže dimensijski odgovarajući profil i
- da troškovi alata u jedinici težine proizvoda budu što manji.

Za navedene zahteve, pored drugih uslova, od bitnog su uticaja kvalitet površine alata i svojstva površine alata.

Alati za istiskivanje aluminijuma se rade od legiranih alatnih čelika za rad u toplom stanju. U radu su ispitivani alati od čelika Č 4751.

Ispitivanje je vršeno sa legurom AlMgSi 0,5 po JUS C.C2.100, koja legura se najčešće koristi za istiskivanje složenih oblika, punih i šupljih oblika profila.

UTICAJNI FAKTORI OTPORA ISTICANJA I USLOVI ISPITIVANJA

Uticajni faktori na otpor tečenja metala duž zidova alata, pri istiskivanju određene legure i za slučaj stepena redukcije $\lambda = \text{const}$, jesu: temperatura T [°C], brzina tiska-

ča v_o [mm/s], srednje odstojanje neravnina Ra [μm] i koeficijent klizanja metala μ^{-1} . Otpor isticanja metala možemo prikazati sledećom funkcijom:

$$v' = f(T, v_o, Ra, \mu^{-1}) \quad (1)$$

Ispitivanje otpora isticanja vršiće se u proizvodnim uslovima tako da su uslovi izabrani za realan proces. U tabeli I date su oblasti i intervali variranja faktora.

Iz tabele I se vidi da su ispitivani faktori temperatura u granicama 350 — 450 [°C], brzina tiskača od 2 — 10 [mm/s], kvalitet obrade klase od 3 — 8 prema JUS M.A1.021 i koeficijent klizanja od 4,46 — 5,26 a prema ispitivanjima [1].

Koeficijent klizanja je upoređivan sa alatima bez termičko hemiske obrade površine alata, sa obradom površine nitriranja postupkom »Tenifer« i nitriranje postupkom »Sulfinuz«.

U tabeli II dati su izmereni podaci dimenzija otvora u alatu, tvrdoća jezgra i površine kod nitriranih alata i hrapavost površine alata.

TABELA 1. Oblasti i intervali variranja faktora proba za uticaje fizičko-hemiskih osobina površina alata i hrapavosti površine alata na otpore isticanja

Faktori	Indeks	Oblast	Oblast interesovanja	Nivoi	Faktori			
					x ₁	x ₂	x ₃	x ₄
Koefficijent klizanja	x ₁	10 — 2	5,2—4	Interval variranja	0,63	0,58	50	4
Hrapavost Ra [μm]	x ₂	0,02 — 1,6	0,04 — 1,2	Osnovni (FeN)	4,63	0,62	400	6
Temperat. T [°C]	x ₃	300 — 500	350 — 450	Gornji (FeSN)	5,26	1,2	450	10
Brzina v_o [mm/s]	x ₄	0 — 17,8	2—10	Donji (Neob.)	4,0	0,04	350	2

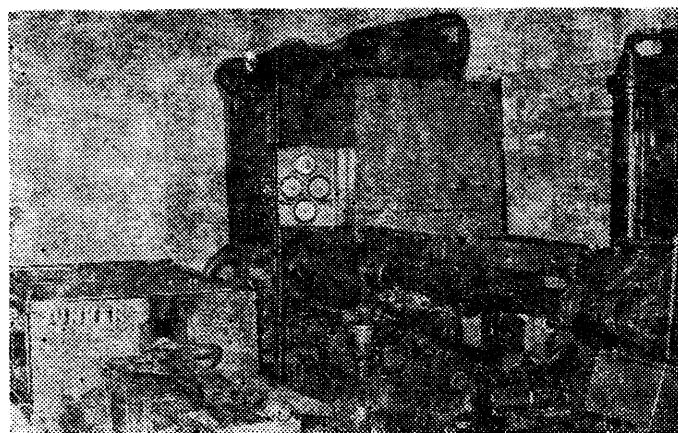
TABELA 2. Izmerene vrednosti probnih alata

Br. alata	Precnik d [mm]	Radna visina H [mm]	Tvrdoća površine HV ₂₀	Hrapavost površine Ra [μm]
Al — 10	9,88	6,06	1427	0,580
Al — 10'	9,86	6,00	1452	0,450
Al — 11	9,86	6,00	1498	1,123
Al — 11'	9,87	5,97	1405	1,050
Al — 12	9,88	5,90	—	0,042
Al — 12'	9,86	6,07	—	0,035
Al — 13	9,86	6,07	1475	0,040
Al — 13'	9,88	6,07	1408	0,038
Al — 14	9,88	6,00	—	1,170
Al — 14'	9,96	6,10	—	1,320

Tvrdoća jezgra alata je 50 — 52 HRc

Ispitivanje je vršeno na proizvodnoj hidrauličnoj preseši nazivne sile od 8000 [kN], otvora recipijenta \varnothing 130 [mm], sa programskom regulacijom brzine tiskača u granicama od 0 — 26,7 [mm/s], pripremci su zagrevani u protočnoj indukcijskoj peći sa tačnošću regulacije temperature od ± 5 [°C]. Sva merenja su vršena sa tri ponavljanja i data je srednja vrednost istih.

Na slici 1 data je fotografija prese i peći za zagrevanje pripremaka na kojoj je vršena proba.



Slika — 1

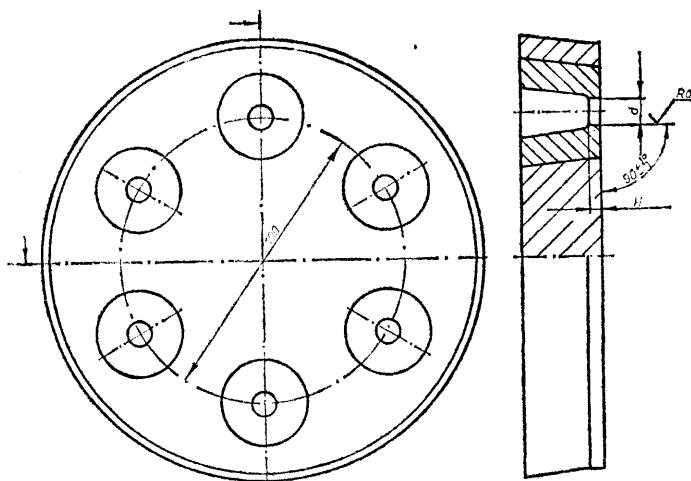
METODOLOGIJA ISPITIVANJA

Radi većeg broja uticajnih faktora potrebno je iznaci takav model alata i metodu ispitivanja da u jednoj probi istovremeno variramo što veći broj faktora i dobijemo najveći broj informacija.

Za ispitivanji oblik profila izabrana je okruglog preseka šipka a model alata ima šest pozicija koncentrično raspoređenih oko ose istiskivanja. Na slici 2 je prikazan model alata.

Svakom variranom faktoru pripadaju po dve dijagonalno suprotne pozicije, tako da istovremeno imamo tri ispitivana faktora sa po dva rezultata proba.

Usvojen je metod matematičkog planiranja eksperimenta gde je parametar optimizacije otpor isticanja to jest brzina isticanja. Merenje brzine isticanja se svodi na me-



Slika — 2

renje razlike brzine isticanja između pozicija. Pošto pri jednoj probi je $V_o = \text{const}$, to se merenje brzine svodi na merenje dužine pozicija. Za sve izvršene probe izmerene dužine pozicija se svodi na dužinu nazivne zapremine istisnutog pripremka »1«, prva proba je na nultom nivou i usvaja se $V_o = 1$ a za sve ostale prema odnosu:

$$f_i = V_o/V_i \quad (2)$$

Za matematički model, radi većeg broja faktora i njihove uzajamne zavisnosti, usvaja se nepotpuni polinom višeg reda.

Za potpuni faktorni plan proba u dva nivoa potrebno je: $N = 2^4 = 32$ proba, bez provere i ponavljanja. Radi toga usvojen je plan minimizacije broja proba sa polureplikom, tako sada je broj proba: $N = 2^{4-1} = 8$ proba. U tabeli III prikazana je matrica planiranih proba.

Iz tabele III se vidi da se posebno ocenjuje međudejstvo faktora: x_1x_2 , x_1x_3 i x_2x_3 .

Na osnovi usvojenog redosleda brojeva proba po tablici slučajnih brojeva i faktora prema tabeli III, sa dva ponavljanja u svakoj tačci, izvršene su probe i svi podaci uneti u protokol ispitivanja. Radi ilustracije dat je jedan primerak protokola ispitivanja.

U cilju smanjenja troškova za izradu alata, konstruisan je nosač matrica-umetaka sa šest pozicija. Umeci su izrađeni za pet odabranih faktora i to po dva umetka za svaki varirani faktor. Na slici 3 data je fotografija umetaka, nosača umetaka i podmetač nosača, sa kojima se je vršila proba.

TABELA 3. Matrična planiranja proba za faktor kvaliteta površine i osobine površine alata

	$x_1 = \mu^{-1}$	$x_2 = Ra$	$x_3 = T$	$x_4 = v_o$					
	[1]	[μm]	[°C]	[mm/s]					
Interval variranja	0,63	0,58	50	4					
Nivo gornji	+1	5,26	1,2 / √	450					
Nivo osnovni	0	4,64	0,62 / √	400					
Nivo donji	-1	4,00	0,04 / √	350					
Br. pro. N	Redo. prob.	x_o	x_1	x_2	x_3	x_4	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3
1	4, 2	+1	+1	+1	-1	-1	+1	-1	-1
2	4, 2	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1	+1
3	2, 1	+1	+1	-1	-1	+1	-1	-1	+1
4	2, 1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	+1	-1
5	3, 3	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1
6	3, 3	+1	-1	-1	+1	+1	+1	-1	-1
7	1, 4	+1	+1	-1	+1	-1	-1	+1	-1
8	1, -4	+1	-1	+1	+1	-1	-1	-1	+1
	$\Sigma x_{ji} = 0$	0	0	0	0	0	0	0	0
Uslovi:	$\Sigma x_{ji}^2 = N$	8	8	8	8	8	8	8	8
	$\Sigma x_{ji} x_{ni} = 0$	0	0	0	0	0	0	0	0

PROTOKOL ISPITIVANJA

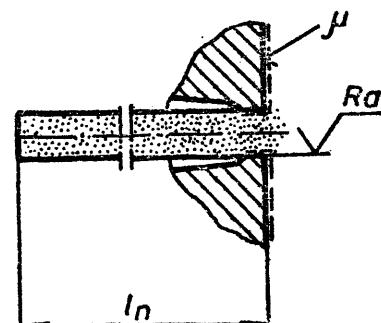
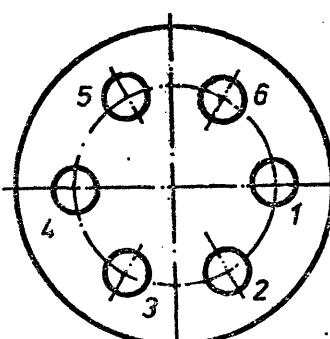
Ispitivanje izvodi: V. Volčanšek

Datum ispitivanja: 23. i 25. VII 80.

Serija proba prema planu: Tabela X, redosled probe: 4;2

Br. proba i pozic.	I_n	$f_i = \frac{1}{1,038}$	1	μ^{-1}	Ra	T	v_o	d = 9,9
			[mm]	—	—	[μm]	[°C]	H = 6
1/1	1862	1862						$\alpha = 90^\circ$

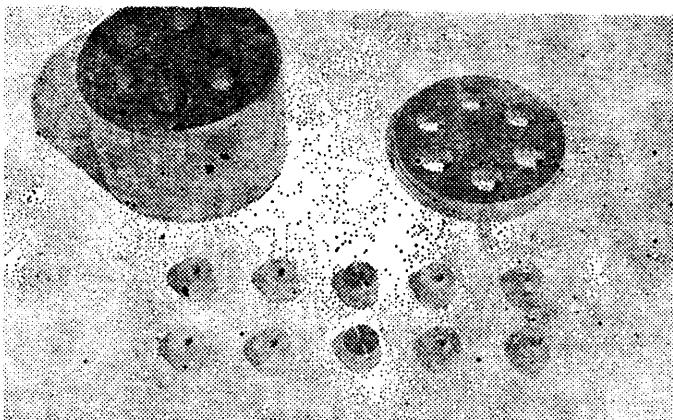
1/4	1878	1878
2/1	1972	1900
2/4	1930	1860



Srednja
vrednost 1875

Materijal ispitivanja JUS C.C2.100: AlMgSi — 0,5Popr. pres. otvora recipijenta: $A_o = 13.273,2 \text{ [mm}^2]$

Broj probe — red. probe		1—2	1—2	2—4	2—4
Popr. pres. otv. u alatu	mm ²	461,88		461,88	
Stepen redukcije		28,74		28,74	
	°C	320		318	
Pritis. zapt. alata	MPa	20,74		21,63	
Sila zapt. alata	MN	0,66		0,69	
Grani. prit. tečenja	MPa	23,04	18,14	24,03	19,12
Grani. sile tečenja	MN	7,44	5,85	7,76	6,17
Srednji prit. istisk.	MPa	20,59		21,57	
Srednja sila istisk.	MN	6,64		6,96	
Srednji sp. prit. istis.	MPa	500,25		524,36	
Visina pres. ostatka	mm	160	90	190	120

**Slika — 3**

Posle izvršenih proba, sredivanja rezultata i izračunatih vrednosti: srednjeg rezultata y_i , disperzije s_i^2 , regresije \hat{y}_i i kvadrata adekvatnosti modela ($y_i - \hat{y}_i$)², sve ove vrednosti date su u tabeli IV.

TABELA 4. — Rezultati proba faktora kvaliteta površine alata

Br.	y_1	y_2	y_3	y_4	\bar{y}_i	s_i^2	\hat{y}_i	$(\bar{y}_i - \hat{y}_i)^2$
1	1862	1878	1900	1860	1875	324	1869	36
2	1920	1940	1962	1882	1926	1154	1908	324
3	1813	1931	1920	1868	1883	2933	1876	49
4	1702	1765	1700	1673	1710	1519	1712	4
5	1821	1793	1745	1749	1777	1333	1774	9
6	1820	1798	1750	1852	1805	1836	1814	81
7	1936	1945	1972	1975	1957	378	1970	169
8	1775	1808	1815	1802	1800	306	1806	36
$\bar{y}_o =$ $= 1841 \quad \Sigma 9801 \quad \Sigma 708$								

Na osnovu jednačine višestruke regresije i rezultata proba iz tabele IV izračunate su vrednosti parametara matematičkog modela. Posle matematičke obrade rezultata i točne disperzije, signifikantnosti parametara, adekvatnosti matematičkog modela i prelaskom na prirodne koordinate, došlo se je do konačnog obrazca brzine isticanja metala iz alata u zavisnosti od uticajnih faktora, koji glasi:

$$\frac{v}{\sigma} = 1739 + 50 \mu^{-1} - 88 Ra - 12 v_o \quad (3)$$

U obrascu (3) ne figurišu faktori temperatura T i faktori međudejstava: μ^{-1} Ra, μ^{-1} T i Ra T. Na osnovu ocene vrednosti signifikantnosti parametara modela i kriterijuma prema STJUDET-u ovi su faktori isključeni iz modela, pošto nemaju značajnijeg uticaja na proces.

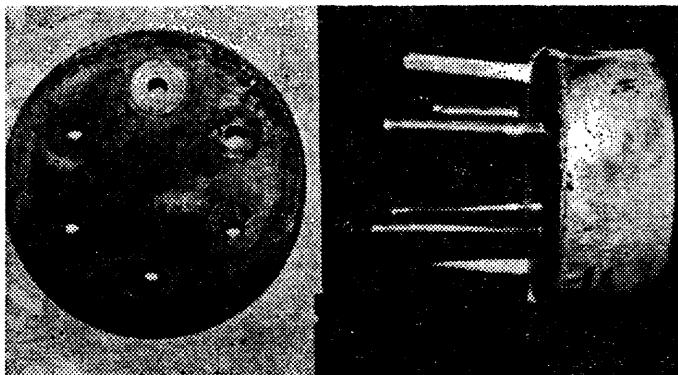
Pored ove matematičke ocene ima i teoretske opravdanosti izostavljanja ovih faktora, na primer: eksperiment je izveden u temperaturnim granicama od 350 do 450 °C, u ovom temperaturnom području u materijalu nemamo strukturne promene a time su i otpori isticanja prilično izjednačeni.

TABELA 5. — Rezultati srednjih vrednosti proba i računske vrednosti na nultoj tački

Br. proto.	U s l o v i						
	μ^{-1} [/]	Ra [μm]	T_o [°C]	v_o [mm/s]	Sred. vredno.	y_i	Račun. vredno. /3/
XVIII—0	4,63	0,62	400	6	1815	1843	1,5
	5,26	0,04	400	6	1960	1926	1,7
	4,00	1,20	400	6	1794	1761	1,8
XVIII—1/0	4,63	0,62	350	2	1818	1891	3,9
XVIII—3/0	4,63	0,62	350	10	1863	1796	3,7
XVIII—5/0	4,63	0,62	450	10	1876	1796	4,4
XVIII—7/0	4,63	0,62	450	2	1798	1891	4,9

Provera matematičkog modela (3) je izvršena dodatnim probama na nultom položaju faktora. Uporedni podaci ovih proba, za uslove: $\mu^{-1} = 4,61$ i $R_a = 0,62 \text{ } [\mu\text{m}]$ dati su u tabeli V. Iz rezultata u tabeli V vidimo da je greška između računske vrednosti po obrazcu (3) i srednje vrednosti y_i u granicama do 4,9%, što je prihvativljiva greška za ove probe.

Na slici 4 data je fotografija jednog uzorka probe sa alatom, gde se vidi razlika isticanja pozicija iz alata.



Slika — 4

Na osnovu proverenog matematičkog modela (3) možemo dati analizu uticajnih faktora hemijskog sastava površine alata i kvaliteta obrade alata.

Na otvore isticanja metala iz alata hemijski sastav površine alata pri toploem istiskivanju aluminijuma nema nekog velikog uticaja. Na vek alata i na smanjenje mogućnosti svarivanja aluminijuma na površine alata je oči velikog značaja nitrirana ili sulfo nitrirana površina alata.

Kvalitet obrade površine alata utiče značajnije na veličinu otpora isticanja metala iz alata a takođe je od značaja za kvalitet površine gotovog proizvoda.

Na veličinu otpora isticanja brzina glavnog klipa ne ma većeg uticaja ali brzina deformisanja ima značajan uticaj na količinu odvedene toplote iz zone oblakovanja, tako da brzina klipa i stepen redukcije su najznačajniji faktori rentabilnosti oblikovanja metala istiskivanjem.

Svi ispitivani faktori nisu od velikog značaja na veličinu ukupnog deformacionog rada ali su od velikog značaja na dužinu eksplotacionog veka alata i na kvalitet površine proizvoda.

ZAKLJUČAK

Izneti rezultati su deo istraživačkog rada ispitivanja uticaja faktora geometrije alata, položaja otvora u alatu i kvaliteta i svojstva površine alata na otpore isticanja me-

tala i alata pri istosmernom istiskivanju aluminiskih lebara.

Rezultati istraživanja se mogu koristiti pri projektovanju tehnologije istiskivanja i konstrukcija alata za istiskivanje. Otpori isticanja, pored značaja za veličinu deformacionog rada, jesu od značaja za definisanje veka trajanja alata to jest trošenje alata, kvaliteta površine proizvoda, svojstva površine alata na svarivanje sa aluminijumom i na brzinu usticanja profila iz alata.

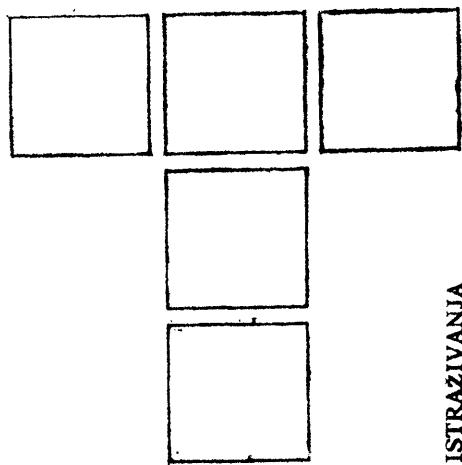
LITERATURA

1. K. SIEGERT: Untersuchungen über das direkte, indirekte und hydrostatische Stangpressen. Dissertation, TU Berlin, 1976.
2. B. L. BELLO: Aluminium extrusion die correction. Fellow publications, San Francisko, 1972.
3. D. WANDERS: Berechnung und Optimierung von Hochtemperaturwerkzeugen am Beispiel von Strangpressmatrizen. Dissertation, TU Clausthal, 1972.
4. A. N. LEVANOV i dr.: Kontaktne trenje v processah obrabotki metallov davleniem. Metallurgija, Moskva, 1976.
5. V. VOLČANŠEK: Istraživanje uticajnih faktora na otpore isticanja i njihove korelacione odnose pri istosmernom toploem presovanju legure AlMgSi 0-5 u proizvodnim uslovima. Disertacija, Maš. fakultet Niš, 1981.

Dr VINKO VOLČANŠEK, dipl. maš. ing., rukovodioce Tehničko tehničke službe OOURL-a Metalurgije u Fabriči „Đuro Salaj“ Niš.



Roden 1933. godine. Diplomirao 1962. godine na Visokoj tehničkoj školi u Sarajevu. Doktorirao 1981. godine na Mašinskom fakultetu u Nišu. Bavi se stručnim radom iz oblasti zapreminskog oblikovanja metala i projektovanjem alata za istiskivanje aluminiskih legura. Imao publikovanih 60 stručnih i naučnih radova.



Promena fizičko-mehaničkih karakteristika površinskog sloja u periodu razornog habanja zuba zupčanika

U V O D

U savremenom mašinstvu, zupčasti prenosnici predstavljaju nezamenljive elemente i sklopove mnogih mašina i mehanizama. Kao veoma odgovorni elementi, zupčanici u mnogim konstrukcijama obezbeđuju: ravnomernost i bezšumnost kretanja, prenos željene snage, tačnost i kvalitet obrade, stepen korisnog dejstva. Vrednost, pouzdanost i trajnost mnogih mašina, često se određuje kvalitetom njihovih zupčanika.

Za potpuniji proračun zupčanika na kontaktну dinamičku čvrstoću, za preciznije određivanje moći nošenja, dimenzija i veka zupčanika, neophodno je verodostojnije određivanje parametara nasleđenih u toku tehnološkog procesa izrade. Iz grupe nasleđenih uticajnih parametara treba svakako izdvojiti: mikro- i makrogeometriju, strukturu i tvrdoću kontaktnih površina.

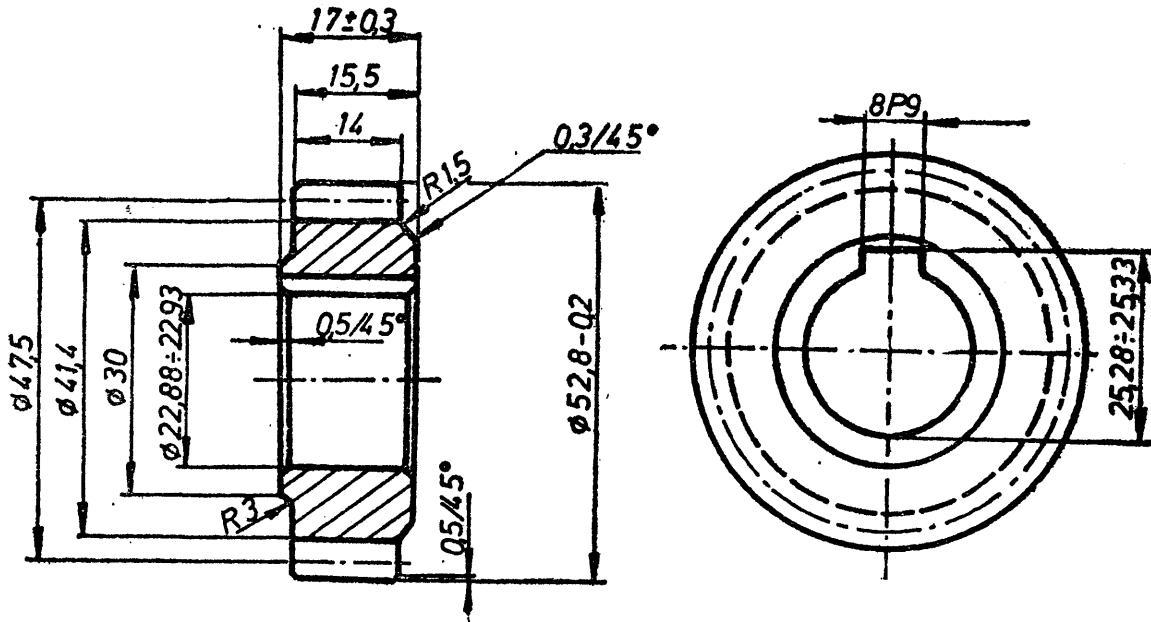
Posmatrajući zupčasti prenosnik kao elemenat koji »stari«, veoma je važno iznaći zavisnost između promene fizičko-mehaničkih karakteristika zupčanika i razvoja procesa habanja.

U ovom radu razmatrane su fizičko-mehaničke karakteristike zupčanika pre puštanja u rad i njihova promena u eksploataciji, naročito u periodu razornog habanja. Učinjen je pokušaj da se proces habanja razmotri i sa aspektom promena metalurških karakteristika ispitivanog zupčanika.

PROGRAM ISPITIVANJA

Ispitivanja su vršena na zupčaniku (Sl. 1), koji je unapred konstruisan sa ciljem da svojim dimenzijama i oblikom predstavlja jedan od često korišćenih zupčanika u prenosnicima mašina alatki. Kako termička obrada predstavlja jednu od metoda povećanja otpornosti na habanje i čvrstoće zupčastih prenosnika, zupčanici su po završenoj obradi rezanjem termički obradivani. Termička obrada je vršena u jednoj od fabrika Zavoda »Zastava« po normativima, režimima i sa grupom zupčanika za mašine alatke koje ova fabrika proizvodi kao sastavni deo svog programa.

Eksperimentalna ispitivanja su vršena na uređaju za ispitivanje zupčanika koji radi po principu »zatvorenog kru-



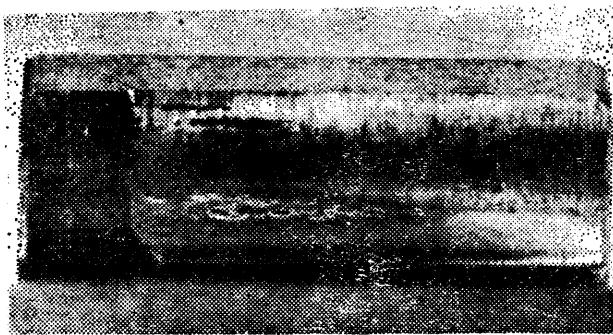
Slika — 1.

* Podaci o autoru dati u časopisu »Tribologija u industriji«, br. 1, 1980.

ga» snage i spada u grupu uređaja kod kojih je moguće menjati opterećenje u samom procesu rada.

Ispitivanja na uređaju su vršena sve do pojave razornog habanja na zubima ispitivanog zupčanika. Razorno habanje je krajnji i završni period veka zupčanika u kome dolazi do odvajanja čestica, razaranja i izmena oblika površina zuba zupčanika. U ovom periodu dolazi do naglog narušavanja ravnomernosti rada i vibro-akustičnih karakteristika prenosnika. Do pojave perioda razornog habanja došlo je tek pri 10^8 ciklusu. Po završenom radu od 1775 časova ili $1,533 \times 10^8$ ciklusa, primećeno je da su zubi zupčanika dobrim delom svoje površine razoreni i da bi daljnijih rad nosio u sebi opasnost loma zuba (Sl. 2).

Po završenom eksperimentu, posle $1,533 \times 10^8$ ciklusa, ispitivani zupčanik je podvrнут nizu metalurških ispitivanja, sve u cilju ocena promena fizičko-mehaničkih karakteristika površinskog sloja u periodu razornog habanja. Sprovedena ispitivanja su trebala da bliže definišu vezu između razornog habanja i fizičko-mehaničkih promena površinskog sloja.



Slika — 2.

Program metalurških ispitivanja je obuhvatao:

1) Analizu osobina materijala zupčanika:

- Hemijski sastav
- Veličinu austenitnog zrna
- Analizu sadržaja nemetalnih uključaka.

2) Analizu fizičko-mehaničkih karakteristika pojedinih zuba:

- Ispitivanje tvrdoće površine zuba
- Ispitivanje tvrdoće po dubini cementiranog sloja
- Analizu strukture cementiranog sloja, sa posebnim osvrtom na površinsku zonu dela zupčanika koji se nije sprezao, kao i dela zupčanika koji je bio u sprezi i koji se habao u vremenu eksploatacije.

Ispitivanja strukture su vršena u tri osnovne zone, i to:

- a) Delu aktivne površine zuba koji se nije sprezao pri radu zupčanika i koji je istovremeno definisan fizičko-mehaničkim karakteristikama formiranim kao posledica režima završne obrade
- b) Delu aktivne površine zuba koji se sprezao pri radu zupčanika i na kome neima pojave pitinga
- c) Delu aktivne površine zuba koji ima vidljive tragove pitinga.

Ovako definisane zone u daljem radu nose navedene oznake: a, b i c.

REZULTATI ISPITIVANJA

Analiza osobina materijala zupčanika

Hemijski sastav

Analiza hemijskog sastava materijala vršena je metodama koje propisuje JUS za pojedine elemente. Dobijeni rezultati prikazani su u sledećoj tabeli:

TABELA 1.

% clemenata	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo
Propisani JUS-om C.B9.020 za čelik Č. 4321	0,17 0,22	0,15 0,40	1,10 1,40	max 0,0	max 0,035	1,00 1,30	— —	— —
nadjeni analizom	0,20	—	1,16	—	—	1,01	0	0

Materijal zupčanika je čelik za cementaciju (Č. 4321), legiran hromom i manganom, osnovne namene korišćenja za visoko opterećene mašinske delove.

Usled nedostatka materijala potrebnog za analizu pojedinih elemenata, a uslovijenog velikim brojem drugih ispitivanja, urađena je samo analiza legirajućih elemenata neophodnih za identifikaciju čelika.

Veličina austenitnog zrna

Za ocenu veličine austenitnog zrna vršeno je izazivanje austenitnog zrna metodom direktnog kaljenja i nagrijanjem u alkoholnom rastvoru pikrinske i sone kiseline. Analiza je izvršena prema ASTM-u E 112-63 (1969).

Izmerena krupnoća zrna je 7—8.

Austenitno zrno ispitivanog materijala zupčanika je sitno-zrno, što garantuje povoljne mehaničke karakteristike. Uobičajena krupnoća zrna čelika za zupčanike je 5—8.

Analiza sadržaja nemetalnih uključaka

Analiza nemetalnih uključaka je vršena prema JK-skali, metodom najlošijeg polja, prema ISO/DIS 4987 predlogu standarda.

Procena uočene mikronečistoće materijala ispitivanog zupčanika, ukazuje na prisustvo uključaka: tipa A (sulfidi), ocenom 1 i tipa D (oksidi), ocenom 1.

Dobijeni rezultati ukazuju da čelik ima zadovoljavajuću mikronečistoću. U čelicima za zupčanike dopušta se prisustvo nemetalnih uključaka do ocene 3. Vrednost ocene se kreće od 0 do 5, pri čemu veća ocena označava veću zaprljanost.

Analiza fizičko-mehaničkih karakteristika aktivne površine zuba

1. Tvrdoća temene površine zuba merena metodom po VIKERSU, JUS C.A4.030, iznosi:

HV 10 = 642

2. Dubina cementiranog sloja određena je prema ISO 2639/1973, merenjem tvrdoće po dubini cementiranog sloja, na upravnom preseku zuba. Granična tvrdoća za određivanje cementiranog sloja je HV 550. Izmerene vrednosti prikazane su u sledećoj tabeli:

TABELA 2.

Rastojanje od površine (mm)	Zone merenja tvrdoće HV 1		
	a	b	c
0,05	742	742	581
0,10	660	713	533
0,15	571	591	507
0,20	524	551	467
0,25	482	498	—
jezgro	453	432	—
Dubina sloja (mm)	0,15	0,20	0,05

MIKROSTRUKTURA POVRŠINSKOG SLOJA:

Zona a: (Sl. 3a) — Sloj eutektoidnog martenzita, koji postepeno prelazi u podeutektoidni. Dubina cementiranog sloja je nešto manja od



a



b

Zona b: (Sl. 3b): — Sloj eutektoidnog martenzita, koji postepeno prelazi u podeutektoidni. Debljina cementiranog sloja iznosi 0,20 mm.

Zona c: (Sl. 3c) — Sloj eutektoidnog i podeutektoidnog martenzita. Sadržaj eutektoidnog martenzita relativno brzo opada. Debljina cementiranog sloja iznosi približno 0,05 mm.



c

Slika 3. — Mikrostruktura površinskog sloja zuba (x 250)

Cementirani sloj zuba je zadovoljavajuće dubine. Zadovoljavajuću dubinu i tvrdoću pokazuju i zona a. i zona b. U zoni c. nedostaje najtvrdi deo sloja sa strukturom eutektoidnog martenzita.

Analiza mikrostruktura površinskog sloja pokazuje da su strukture zona a. b. skoro identične.

ANALIZA METALURŠKIH ISPITIVANJA

Analiza izvršenih metalurških ispitivanja, pokazuje da je materijal zupčanika (Č. 4321) sitnozrnog austenitnog zrna, što garantuje povoljne mehaničke karakteristike.

Mikročistoća korišćenog čelika je zadovoljavajuća sa veoma malim prisustvom nemetalnih uključaka.

Dubina cementiranog sloja je u većini slučajeva zadovoljavajuća i nalazi se u granicama između 0,13—0,20. Kvalitet izrade i kvalitet termičke obrade ispitivanog zupčanika predstavljaju standardni prosek jednog izabranog proizvođača koji u svoje proizvode ugrađuje zupčanike sličnog kvaliteta. Valja napomenuti da je i jedan od osnovnih nedostataka brušenja što se ovom završnom obradom skida izvestan deo sloja, najotpornijeg na habanje. Ova osobina brušenja je uticala da dubina cementiranog sloja bude relativno manja.

Struktura površinskog sloja sastoji se iz eutektoidnog martenzita koji idući ka jezgru prelazi u podeutektoidni.

Sadržaj ugljenika direktno utiče na oblik martenzita i tvrdoću. Na površini cementiranog sloja, sadržaj ugljenika je približno 0,8% C (eutektoidni). Idući ka jezgru opada, da bi se na određenom rastojanju od površine izjednačio sa osnovnim metalom.

Eutektoidni sastav površinskog sloja pri kaljenju daje eutektoidni martenzit velike tvrdoće (do HV 750) i karakterističnog je izgleda (sitne iglice čije se konture naziru u lepezastom rasporedu unutar grupa, koje predstavljaju zrna; orijentacija iglica susednih zrna стоји под углом од 60°).

Čelik zupčanika sadrži 0,20% C i prilikom kaljenja ostvaruje martenzitnu strukturu tvrdoće HV 439. Karakteristični izgled ovakve strukture su iglice jasno izraženih

ivica, lepezasto raspoređene u grupama. Orientacija iglica u dodirnim grupama je pod uglom od 60° .

U procesu eksploracije, mikrostruktura aktivne površine ostaje ista, što ukazuje na činjenicu da se nasleđene strukturne karakteristike ne menjaju razvojem procesa habanja.

Karakteristična i interesantna je pojava povećanja tvrdoće u procesu eksploracije. Nasuprot postojanoj mikrostrukturi, tvrdoća aktivne površine sprezanja je postala veća po završenom eksperimentu. Uzrok povećanoj tvrdoći su deformacije nastale u procesu sprezanja, pri čemu se hladnom deformacijom (temperatura manja od 873 K) deformiše zrno i postaje tvrde.

Na mestu pojave pitinga, mikrostruktura površinskog sloja sastoji se iz eutektoidnog i podeutektoidnog martenzita. Učešće eutektoidnog martenzita relativno brzo opada, pri čemu dubina eutektoidnog martenzita zavisi od dubine pitinga.

Za razliku od termički neobrađenih zupčanika gde se u oblasti pitinga uočavaju gruba zrna, kod termički obrađenih zupčanika ova se pojava ne može uočiti.

ZAKLJUČAK

Razorno habanje je krajnji i završni period veka zupčanika. Karakteriše se odvajanjem čestica, razaranjem i izmenom oblika aktivnih površina zuba zupčanika. U ovom periodu dolazi do naglog narušavanja ravnomernosti rada i vibro-akustičnih karakteristika prenosnika. Na ispitivanom zupčaniku se u ovom periodu jasno uočavaju jamice, raspoređene u obliku klina, pod nešto kosim uglom u odnosu na aktivnu površinu.

Analiza metalurških ispitivanja pokazuje da je u periodu razornog habanja skinut najtvrdi deo sloja sa struk-

turom eutektoidnog martenzita. Dubina eutektoidnog martenzita zavisi od dubine pitinga.

Tvrdoća aktivne površine zuba se povećava u toku eksploracije, zahvaljujući deformacijama koje nastaju u procesu sprezanja. Hladne deformacije koje se tom prilikom razvijaju, deformišu zrno koje postaje tvrde. Nasuprot povećanoj tvrdoći, mikrostruktura ostaje postojana.

Autor zahvaljuje saradnicima Laboratorijuma za metalurška istraživanja, a posebno Vasiliju Jovanoviću, dipl. inž., na nesebičnoj pomoći u realizovanju metalurških ispitivanja.

LITERATURA

1. ГАРВАР И. И., СКОРЫНИН Ю. В.: Исследование структуры поверхностного слоя при трении, Машиноведение, 1975, № 5.
2. NAKAJIMA K., MIZUTAI Y.: Structural change of the surface layer of low carbon steels due to abrading, Wear, 13, 1969.
3. VENKATESH C. V., KRISHNAMURTHI R.: On pitting of machine tool gears under overload, Int. J. Mach. Des. Res. Vol. 14, 1974.
4. TANASJEVIĆ S.: Prilog istraživanju uticaja uslova formiranja aktivnih površina zuba na razvoj procesa habanja cilindričnih evolventnih zupčanika, Doktorski rad, Kragujevac 1980.