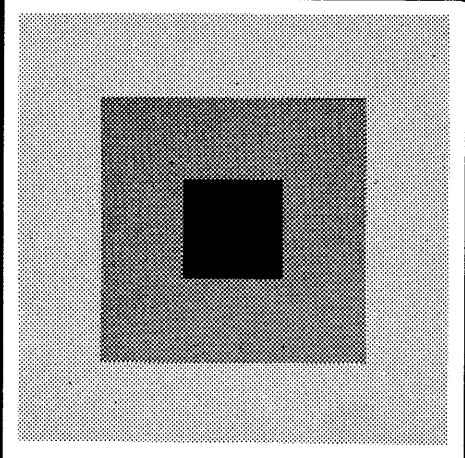
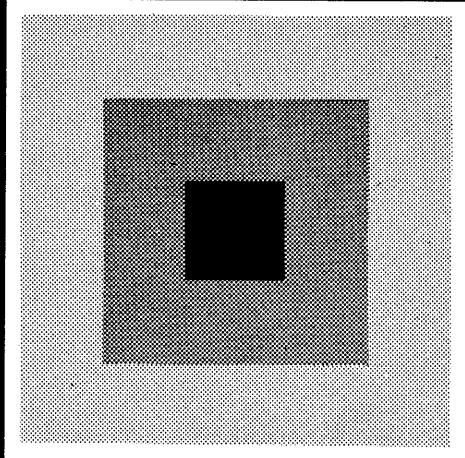
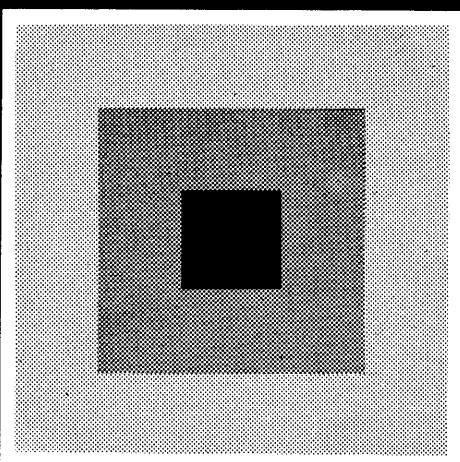
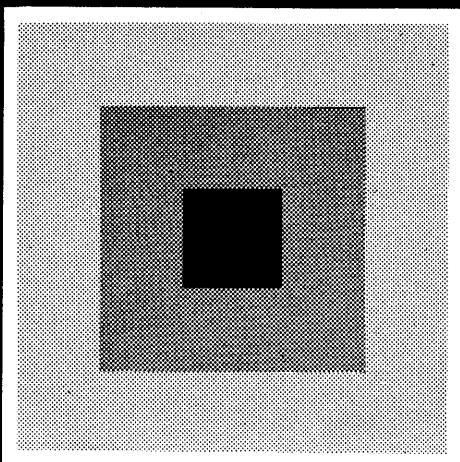
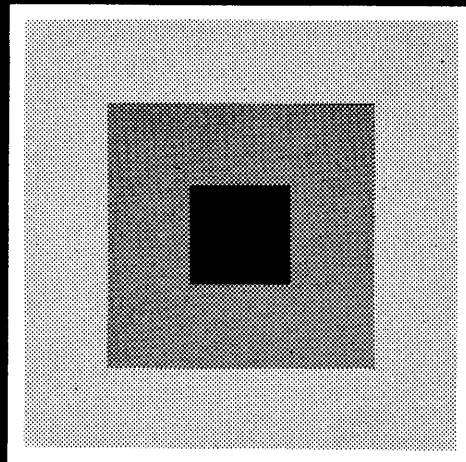


tribologija u industriji

YU ISSN 0351-1642
GODINA II
septembar 1980.

3



GODINA II
BROJ 3.

SEPTEMBAR (93)

tribologija u industriji

sadržaj contents содержание

* * *

M. KOJIĆ: Dvadeset godina studija mašinstva u Kragujevcu — Twenty Years of Mechanical Engineering Studying in Kragujevac — Двадцать лет изучения машиноведения в городе Крагуевац

3

S. ARSOVSKI, M. PEROVIĆ: Primena kompjutera u upravljanju proizvodnjom kao uslov za povećanje proizvodnosti u uslovima maloserijske i serijske proizvodnje — Computer Application in Running of Production for Increase of Small and Large Series — Использование электроприводных машин в управлении производством как условие для повышения производительности в условиях мелькосерийного и серийного производства

5

Н. И. ЯЩЕРИЦЫН, Ю. В. СКОРЫНИН: Vek trajanja mašina u funkciji uslova obrade osnovnih elemenata — Machine Life as Function of Machining Conditions of Basic Elements — Технологическая и эксплуатационная наследственность машин и ее влияние на долговечность машин

7

M. KOKIĆ: Problemi pripreme sredstava za hlađenje i podmazivanje u obradi provlačenjem — Problems on Cutting Fluid Applications in Broaching Operations — Проблемы применения смазочных и охлаждающих средств при обработке протяжкой

20

ZA NEPOSREDNU PRAKSU
FOR DIRECT PRACTICE
ДЛЯ НЕПОСРЕДСТВЕННОЙ
ПРАКТИКУ

24

NOVOSTI
NEWS
ИЗВЕСТИЯ

26

KNJIGE I ČASOPISI
BOOKS AND JOURNALS
КНИГИ И ЖУРНАЛЫ

28

NAUČNI SKUPOVI
SCIENTIFIC MEETINGS
НАУЧНЫЕ СОБРАНИЯ

30

REZIMEA
ABSTRAKTS
РЕЗЮМЕ

31

Dvadeset godina studija mašinstva u Kragujevcu

OD ODELJENJA DO MAŠINSKOG FAKULTETA

Studije iz oblasti mašinske tehnike započele su u Kragujevcu 1960. god., Odlukom Izvršnog veća NRS o formiranju Odeljenja mašinskog fakulteta iz Beograda u Kragujevcu. Održavanje nastave započelo je u zgradи Prve kragujevačke gimnazije za 104 upisana studenta u prvu generaciju.

Uslovi za studiranje većeg broja studenata, uz odgovarajuću opremu laboratorijskog, ostvareni su 1962. godine izgradnjom posebne zgrade površine 6400 m², od čega su laboratorijske površine 1150 m². U ovoj zgradi se i danas nalazi Mašinski fakultet.

Kadrovskim jačanjem fakulteta, usavršavanjem naučno-nastavnih radnika koji su uglavnom angažovani iz privrede ili iz reda studenata sa Odeljenja, stvoreni su uslovi za prerastanje Odeljenja u Mašinski fakultet, 1972. godine. Fakultet ostaje u sastavu Univerziteta u Beogradu sve do 1976. godine, kada sa ostalim fakultetima u Kragujevcu i Čačku zaključuje Samoupravni sporazum o udruživanju u Univerzitet »Svetozar Marković« u Kragujevcu, u okviru koga danas radi.

REDOVNE, VANREDNE I POSLEDIPLOMSKE STUDIJE I USKLAĐENOST PROGRAMA STUDIJA SA POTREBAMA UDRUŽENOG RADA

Za Kragujevac kao veliki centar mašinske industrije, kao i za teritoriju SR Srbije i šire, ogroman značaj je imalo stvaranje mogućnosti da deca iz radničkih i zemljoradničkih porodica (koja trenutno na Univerzitetu u Kragujevcu čine preko 70% studenata) studiraju u mestu boravka porodice, u jednom od središta gde je iz godine u godinu industrija išla krupnim koracima napred. Ogroman broj posebno mlađeg tehničkog visokoškolskog kadra, mašinske struke u industriji koja gravitira području Regionala Šumadije i Pomoravlja i Kraljeva, školovao se i dalje se usavršava na Mašinskom fakultetu u Kragujevcu. O ovome najbolje govore podaci o broju upisanih i diplomiranih studenata datih u donjoj tabeli.

Broj studenata u periodu 1960. — 1980.

	Upisanih	Diplomiranih i završenih posledipolomske studije
Redovne studije	4.385	1.012
Vanredne studije	1.259	732 — viša spremu
Posledipolomske	334	38

Mašinski fakultet upisuje oko 230 redovnih studenata, oko 100 vanrednih i oko 30 studenata posledipolomskih studija. U školskoj 1979/80. godini Fakultet ima ukupno upisanih (u svim godinama studija) 854 redovnih, 446 vanrednih i 184 studenata posledipolomskih studija.

Treba istaći da je interesovanje za studije iz oblasti proizvodnih zanimanja opalo u poslednjim godinama na račun društvenih nauka, tako da Mašinski fakultet iz tog razloga, a i zbog ograničenosti prostornih i laboratorijskih kapaciteta, nije mogao povećati broj studenata uprkos znatno većem broju studenata na Univerzitetu u Kragujevcu. Broj vanrednih studenata, koji se uglavnom školuju u okviru više spreme, takođe je konstantan u poslednjim godinama.

U saradnji sa privredom, u toku dvadesetogodišnjeg perioda, nekoliko puta su vršene promene u nastavnom planu i programu, u cilju prilagođavanja potrebama udruženog rada. Tako se od Konstruktorskog i Pripremno-proizvodnog odseka 1960. god. došlo do tri odseka koji imaju izlazne profile (uz jedan opšti — Odsek za opšte tehničke discipline):

- Odsek za proizvodno mašinstvo i organizaciju
- Odsek za saobraćajno mašinstvo i transport
- Odsek za mašinske konstrukcije.

Trenutno se organizuju i studije više spreme na vanrednim studijama iz oblasti: Proizvodno mašinstvo i organizacija i Motornih vozila i motora.

Posledipolomske studije predstavljaju značajnu oblast delatnosti Mašinskog fakulteta. Prvi kurs posledipolomskih studija organizovan je u okviru Odeljenja mašinskog fakulteta 1966. god., iz oblasti organizacije proizvodnje. Od 1972. god. svake godine se upisuju posledipolomci na magistarske (dvogodišnje) i specijalističke (jednogodišnje) studije. Oblasti studija date su u donjoj tabeli.

Posledipolomske studije

Smer:	Primenjena mehanika i mašinske konstrukcije	Proizvodno mašinstvo i organizacija
Grupa:	Motorna vozila Motori SUS	Obrada metala rezanjem Obrada metala deformisanjem
	Metode proračuna mašinskih konstrukcija	Organizacija proizvodnje
	Hidroprenosnici u transmisijama	Tribologija
	Eksploatacija motornih vozila	Proizvodni sistemi
	Primenjena mehanika	
	Sistemi automatskog upravljanja	
	Pogonski materijali MVM	

Navedene oblasti posledipolomskih studija su upravo oblasti naučno-istraživačkog rada i saradnje sa privredom. Magistarski i specijalistički radovi uglavnom obrađuju probleme iz ovih oblasti i najčešće su usmereni na pojedine konkretne zadatke iz inženjerske prakse.

KADROVSKA I MATERIJALNA BAZA I NAUČNO-ISTRAŽIVAČKI RAD

Od osnivanja Odeljenja pa do danas, u pogledu naučno-nastavne baze opredeljenja su bila na školovanje i usavršavanje sopstvenih kadrova. Taj dosta dugotrajan proces se pokazao kao potpuno ispravan. Danas Mašinski fakultet ima 113 zaposlenih radnika, od čega nastavno i saradničko osoblje čini 61 nastavnik i saradnik; nastavnika ima 20 a saradnika 41. Gotovo svi saradnici su završili posledipolomske studije i veliki broj njih radi doktorske disertacije.

Fakultet ima intenzivnu saradnju sa privredom u obrazovnoj i naučno-istraživačkoj oblasti. Tako je u nastavi nastavničkim zvanjima iz udruženog rada angažованo 5, a u saradničkim — 36.

Jedan od osnovnih uslova razvoja fakulteta, pored kadrova, jeste materijalna baza. U prvoj deceniji postojanja Fakulteta, ulaganja u razvoj materijalne baze (oprema, mašine, učila, biblioteka) bila su znatnija nego kasnije. Tako je trenutna vrednost opreme oko 25.000.000 din, što je nedovoljno za razvoj koji bi bio u skladu sa kadrovskim potencijalima Fakulteta i potrebama istraživanja i savremene nastave. Može se reći da postoji izvesna stagnacija u ovoj oblasti u poslednjim godinama.

Naučno-istraživački rad je uglavnom usmeren ka primjenim naukama, a odvija se kroz saradnju sa udruženim radom i drugim naučno-istraživačkim organizacijama i kroz poslediplomske studije. Istraživanja vezana za pojedine oblasti mašinstva se ostvaruju formiranjem naučno-istraživačkih timova koje čine naučno-nastavni radnici i stručnjaci iz privrede, kroz naučno-istraživačke projekte. Svake godine se realizuje oko 15 naučno-istraživačkih projekata koje potpomažu zajednice nauke, i udruženi rad, ili se ostvaruju kroz direktno ugovore o saradnji između Fakulteta i privrede.

Gotova trećina ukupnog prihoda Fakulteta čine dodatne delatnosti u kojima je osnovna saradnja udruženim radom u oblasti istraživačkog rada.

Udruživanje naučno-istraživačkog potencijala i korišćenje raspoloživih materijalnih uslova (oprema, laboratorije i dr.) Fakulteta i udruženog rada, usmeravanje istraživanja i angažovanje na zajedničkim zadacima, dalo je značajne rezultate. Tako su mnoga istraživanja našla svakodnevnu primenu u praksi, dala nova rešenja. Fakultet ima sporazume o dugoročnoj saradnji, ugovore o radu na pojedinim problemima, sa svim većim radnim organizacijama iz regiona koji gravitiraju Kragujevcu, čija je delatnost iz oblasti mašinske tehnike, kao što su Zavodi »Crvena zastava«, »Filip Kljajić«, »Prva petoletka«, FAM — Kruševac i dr.

PRAVCI DALJEG RAZVOJA — FAKULTET TEHNIČKIH NAUKA

Zahvaljujući kadrovskim i materijalnim uslovima stvorenim na Mašinskom fakultetu, a i razvijanju drugih fakulteta u okviru Univerziteta »Svetozar Marković« u Kragujevcu i potreбama udruženog rada, u Smernicama srednjoročnog plana razvoja je predviđen intenzivan razvoj Mašinskog fakulteta.

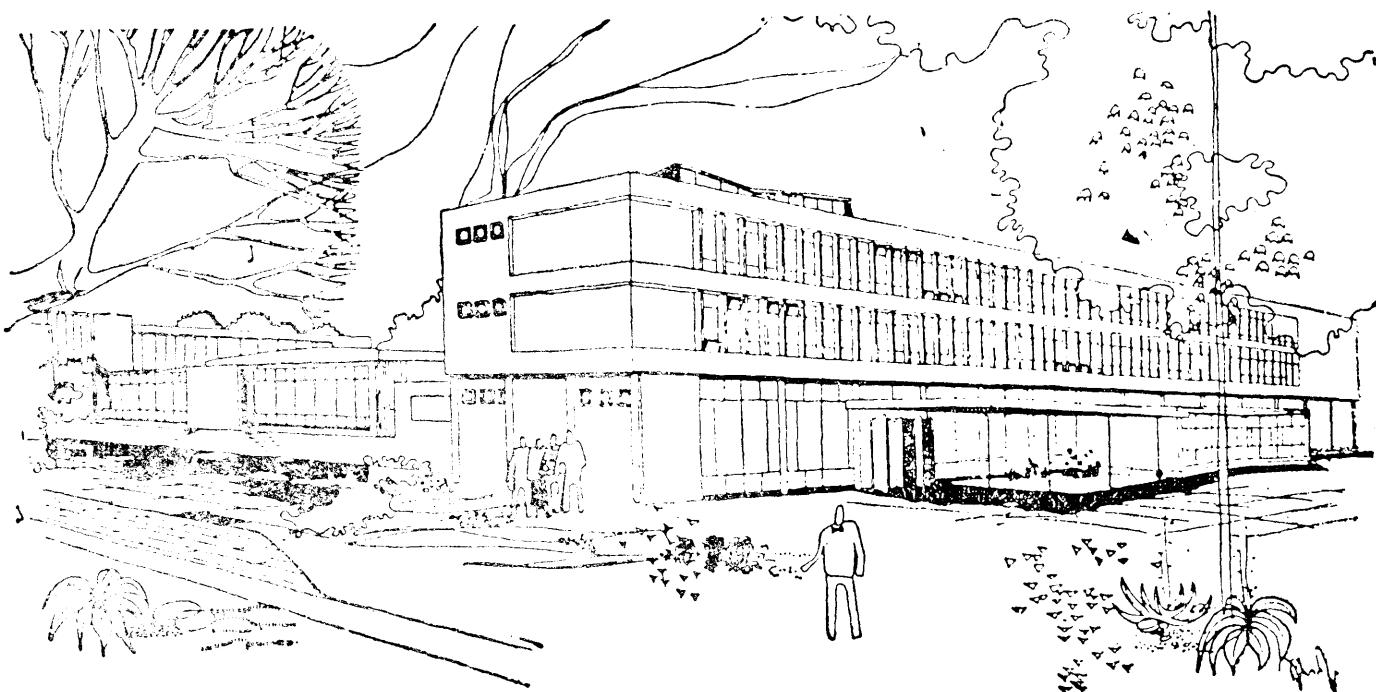
Savet Mašinskog fakulteta je, ceneći potrebe jačanja studija tehnike u Kragujevcu, doneo 4. 02. 1980. god. Odluku o proširenju delatnosti Mašinskog fakulteta i preraštanju u Fakultet tehničkih nauka, koji bi u sadašnjoj fazi razvoja imao sledeće odseke:

- Odsek za proizvodno mašinstvo i organizaciju,
- Odsek za energetiku, automatiku i primjenjenu mehaniku,
- Odsek za motorna vozila, saobraćaj i transport,
- Odsek za mašinske konstrukcije,
- Odsek za građevinarstvo.

Koncept Fakulteta tehničkih nauka sadrži u sebi maksimalnu racionalizaciju nastavnih programa i sadržaja kroz objedinjavanje zajedničkih disciplina za različite završne profile: mašinski, saobraćajni, građevinski i druge za koje se ukaže potreba. On podrazumeva školovanje stručnjaka iz oblasti tehnike sa širim opštim znanjima i blagim usmeravanjem, sposobnim za prilagodavanje novim dostignućima u tehnici, što je u skladu sa reformom srednjeg i visokog obrazovanja.

Smernice srednjoročnog plana razvoja predviđaju posebno jačanje saradnje sa udruženim radom, uskladivanje naučno-istraživačkog rada sa prioritetskim pravcima razvoja našeg društva, putem formiranja odgovarajućih organizacionih celina — instituta i usavršavanja kadrova.

Mašinski fakultet u Kragujevcu



Primena kompjutera u upravljanju proizvodnjom kao uslov za povećanje proizvodnosti u uslovima maloserijske i serijske proizvodnje

UVOD

Pojedinačna i maloserijska proizvodnja se znatno razlikuju od serijske proizvodnje pre svega po tome što su procesi nestabilni i kratkotrajni. Ove okolnosti nisu dozvoljavale primenu sredstava rada sa visokim stepenom automatizacije u oblasti transporta i obrade materijala. U takvim uslovima postojala je tehnološka sloboda čoveka i smatralo se da je čovek nezamenljiv u izvršavanju operativno-regulatorske funkcije. Međutim, sa razvojem elektronike, računara posebno, stvoreni su uslovi da se jedan deo aktivnosti čoveka prenese na računar i alatnu mašinu. Na taj način se postiže minimalno angažovanje čoveka, kao u uslovima protočne proizvodnje. Na tržištu se već mogu kupiti poluautomatizovani i automatizovani obradni sistemi, kao što su NC-, CNC- i DNC-sistemi i sistemi sa adaptivnim upravljanjem (AS-sistemi). Jedan od najvažnijih uslova primene ovih sistema je ovladavanje uticajnim faktorima u procesu obrade radi stvaranja integralnog informacionog sistema i automatizovanog sistema odlučivanja.

U radu se pošlo od strukture vremena trajanja procesa izrade svedenog na jedan komad, koja je dobijena za grupu delova u uslovima pojedinačne i maloserijske proizvodnje. Analizom ove strukture omogućeno je bolje sagledavanje pravaca delovanja u cilju povećanja proizvodnosti. Navedeni cilj se postiže modernizacijom tehnologije izrade uvedenjem NC-, CNC- i DNC-sistema i unapređenjem organizacije proizvodnje uvedenjem računara za upravljanje proizvodnjom.

RAČUNAR I PROIZVODNOST

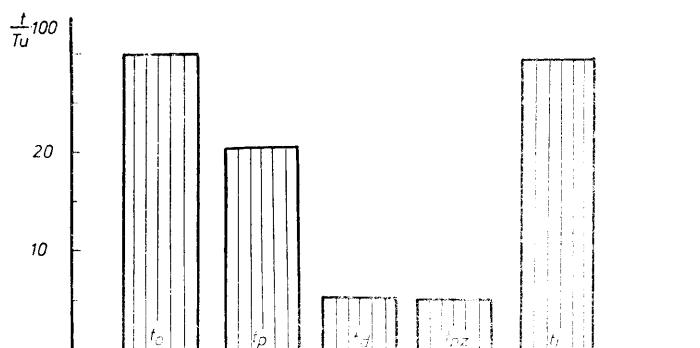
Računar se može koristiti u svim fazama podsistema proizvodnje u cilju automatizacije procesa izrade, kretanja informacija i odlučivanja. Proces stvaranja i kretanja informacija automatizuje se počev od podistema izmena prema podistemom fabrikacije stvaranjem banke podataka i integralnog informacionog sistema. Proces odlučivanja teče od nižeg nivoa upravljanja prema višem nivou, tj. od podistema fabrikacije prema podistemom izmena.

Automatizacija procesa izrade u uslovima maloserijske i pojedinačne proizvodnje omogućena je primenom vrlo fleksibilnih sistema koji poseduju i visok stepen automatizacije procesa obrade, transporta itd. Uslov za primenu ovih sistema je ovladavanje nizom parametara organizacione i tehničke prirode da bi se u toku njihove primene postiglo željeno povećanje proizvodnosti i smanjenje troškova proizvodnje.

Izboru jednog od navedenih sistema prethodi analiza strukture vremena trajanja procesa izrade i razmatranje alternativnih varijanti.

U okviru projekta »Optimizacija proizvodnih uslova u metaloprerađivačkoj industriji sa aspektom minimiziranja troškova proizvodnje« u saradnji sa Zavodima »Crvena zastava« sprovedeno je istraživanje strukture vremena trajanja procesa izrade za 3000 operacija koje se izvode u uslo-

vima maloserijske i pojedinačne proizvodnje. Utvrđeno je da se vremenski stepen iskorišćenja mašine kreće u granicama 0,4—0,8. Za izabranu grupu od 3000 operacija dobijena je struktura vremena trajanja procesa izrade svedenog na jedan komad (sl. 1).



Sl. 1. — Struktura vremena trajanja procesa izrade svedenog na jedan komad

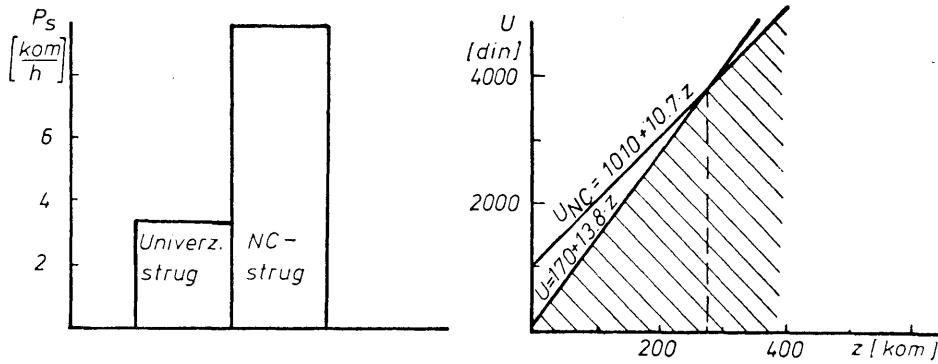
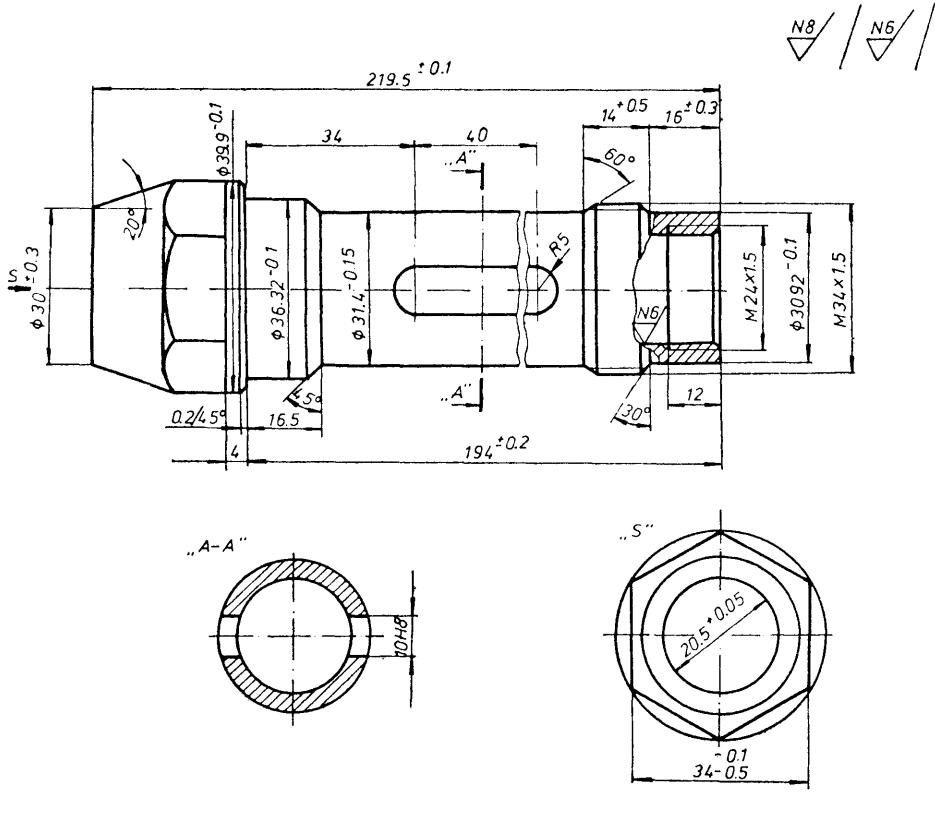
Glavno (osnovno) vreme se može smanjiti uvođenjem savremenijih tehnologija i modernizacijom postojeće opreme (upotreba motora veće snage, primenom savremenih vrsta alata, upotreboru odgovarajućih SHP itd.). Kod predmeta složenije konfiguracije za smanjenje glavnog vremena primenjuju se sistemi numeričkog i adaptivnog upravljanja (NC- i AC-sistemi). Pre uvođenja ovih sistema mora se sačiniti detaljna tehnoekonomska analiza. Za grupu delova, čiji je reprezentant prikazan na sl. 2, uporedene su dve varijante: izrada na univerzalnom i NC-strugu. Korišćena je postojeća metodologija izračunavanja troškova proizvodnje [1] i za obe varijante je odredena struktura vremena izrade i veličina troškova proizvodnje. Na sl. 3. a prikazana je proizvodnost za obe varijante, a na sl. 3. b troškovi proizvodnje u zavisnosti od veličine serije.

U troškove proizvodnje su, pored troškova obrade, uvršteni i troškovi programiranja. Ostali dodatni troškovi utiču uglavnom na visinu troškova proizvodnje i približno su isti za obe varijante. Posmatrajući proizvodnost, uočava se da NC-strugovi imaju prednost, dok je pitanje ekonomičnosti primene NC-strugova vezano za veličinu serije.

Pomoćno vreme se može smanjiti uvođenjem NC-, CNC- i DNC-sistema koji imaju mogućnost brzog hoda, automatskog postavljanja i skidanja alata, automatskog postavljanja i skidanja predmeta obrade, automatskog mereњa za vreme ili nakon obrade itd.

Smanjenje dodatnog vremena omogućeno je primenom savremenije tehnologije koja omogućuje smanjenje vremena tehničkog i organizacionog opsluživanja i manje vreme prekida.

Sl. 2. — Reprezentant grupe delova



Sl. 3. — Uporedni prikaz proizvodnosti i troškova proizvodnje pri izradi reprezentanta

Pripremno-završno vreme u najvećoj meri zavisi od radnika. Primena novih tehnologija u najvećem broju slučajeva ne utiče na njegovo smanjenje, a u nekim slučajevima ga i povećava (tzv. radioničko programiranje sa ručnim ulazom podataka).

Za sprovedenu analizu sa aspekta povećanja proizvodnosti najznačajnija je veličina izgubljenog vremena. Ono iznosi oko 30% vremena trajanja procesa izrade i nastaje zbog neadekvatnog transporta između dve operacije, neblagovremenog snabdevanja alatom, materijalom, dokumentacijom, kvara mašine itd. Mere za njegovo smanjenje su u oblasti organizacije i pripreme proizvodnje. U ovoj oblasti se vrlo uspešno može koristiti računar zbog velikog broja promenljivih parametara koji se javljaju u toku proizvodnje. On se može koristiti za praćenje i upravljanje konvencionalnom maloserijskom i serijskom proizvodnjom ili za upravljanje grupe NC-alatnih mašina (DNC-sistemi i fleksibilni proizvodni sistemi). U oba slučaja računar omogućuje poznavanje opterećenja mašina u svakom trenutku i donošenje najcelishodnijih odluka.

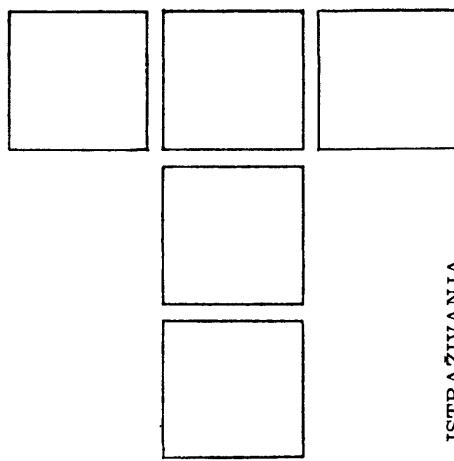
U uslovima konvencionalne maloserijske i pojedinačne proizvodnje sa relativno velikim izgubljenim vremenima može se primeniti računar za formiranje banke podataka i stvaranje osnovnih tehničko-tehnoloških dokumenata u cilju ovladavanja uzročnicima gubitaka vremena. Računar se već sada koristi za upravljanje zalihamama, održavanjem, proizvodnjom, kvalitetom itd.

ZAKLJUČAK

Sprovedena analiza strukture vremena trajanja procesa izrade ukazuje da se najveće uštede mogu postići smanjenjem izgubljenog, glavnog i pomoćnog vremena. Da bi se ovo postiglo treba delovati u dva pravca i to unapređenjem organizacije proizvodnje uvođenjem računara za upravljanje proizvodnjom i modernizacijom tehnologije izrade uvođenjem NC-, CNC- i DNC-sistema. Pored zahteva za povećanjem proizvodnosti, treba se respektovati i zahtev ekonomičnosti.

LITERATURA

- B. IVKOVIĆ, Struktura troškova proizvodnje u obradi metala, Mašinski fakultet, Kragujevac, 1974.
- M. PEROVIĆ, Jedan pristup stvaranju automatizovanih sistema upravljanja proizvodnim procesima, Naučno-stručni skup »Mašinstvo 1873—1973«, Beograd, 1973.
- S. ARSOVSKI, Ručno programiranje NC- strugova, NUMA '79 ROBOTI, Beograd, 1979.



Vek trajanja mašina u funkciji uslova obrade osnovnih elemenata

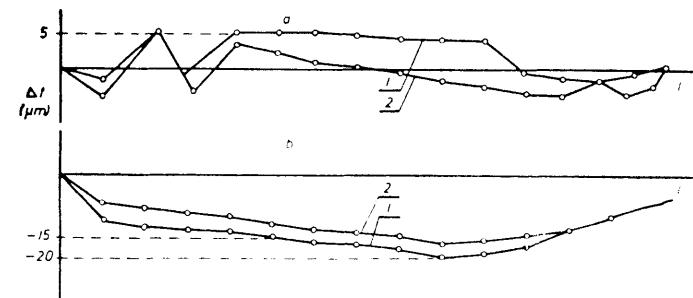
S ruskog preveo: Mr M. Lazić

Najkarakterističniji primer koji ilustruje uticaj tehnološkog i eksploatacionog nasleda na makrogeometriju i eksploracione osobine elemenata su vodice alatnih mašina. Od tačnosti njihove izrade u znatnoj meri zavisi i tačnost obrade elemenata. Za ravno brušenje na brusilici tipa 3571 utvrđena je eksperimentalna zavisnost maksimalne greške obrade Δ , odstupanja vodica radnog stola Δ_s i vodica nosača alata Δ_n , oblika:

$$\Delta = \left[\left(\frac{500}{L_n} \right)^2 \Delta_n + 0,05 \left(\frac{500}{l_0} \right)^2 \Delta_s + \Delta_o \right] \left(\frac{L_d}{500} \right)^2,$$

gde su: L_n — dužina vodica nosača alata, mm, l_0 — dužina vodica stola, mm, L_d — dužina predmeta obrade i Δ_o — greška obrade usled nedovoljne krutosti sistema, μm .

Početna vrednost odstupanja vodica po pravcu je uslovljena tehnologijom izrade. U mnogim radovima je utvrđeno da odstupanja po pravcu vodica kod brusilica tipa 3451 nakon brušenja zavisi od njihovog odstupanja po pravcu pre brušenja (slika 20). Vodice se nakon završnog struganja obrađuju na brusilici tipa 3544A lončastim tocilima, bez primene sredstva za hlađenje i podmazivanje. Profil vodica je određen pomoću autokolimatora tipa MGA. Tehnološko nasleđe se ogleda u kopiranju polaznog odstupanja vodica po pravcu. Veličina odstupanja po pravcu u procesu brušenja se smanjuje za 15—20 μm . Prema tome prenos greške je 75% (slika 20,b), uz aktuelnost polaznog odstupanja po pravcu (ulegnuća) i temperaturnih deformacija u procesu brušenja.



Sl. 21. — Izmena polaznog odstupanja po pravcu ravnih vodica nakon brušenja

- 1 — polazno odstupanje pre brušenja
- 2 — posle brušenja

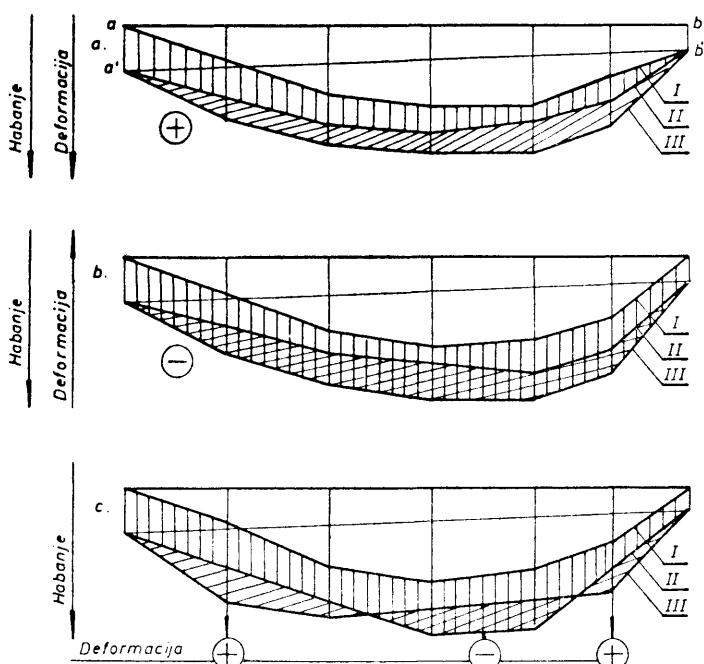
Stepen kopiranja greške karakteriše se koeficijentom tačnosti oblika, koji predstavlja odnos istorodnih grešaka formiranih u dve uzastopne operacije:

$$\epsilon_i = \frac{\Delta_{i-1}}{\Delta_i},$$

gde su Δ_{i-1} , Δ_i — vrednosti grešaka u dve uzastopne operacije.

Veličina koeficijenta tačnosti zavisi od krutosti sistema mašina-alat-pribor-predmet obrade i isti raste sa porastom krutosti sistema.

Polazni profil vodica se menja u toku eksploracije, usled starenja materijala, krivljenja i savijanja vodica, kao i neravnomernog habanja kontaktnih površina. Za ocenu uticaja ovih parametara na veličinu odstupanja vodica, neophodno je pored kontrole profila pratiti i veličinu parametra habanja u različitim tačkama duž profila vodice. Dijagram habanja se obično određuje metodama veštačkih



Sl. 21. — Promena profila vodica alatnih mašina u procesu eksploatacije: a — ukupno habanje i deformacija, b — kompenzacija habanja deformacijom i c — naizmenično promenljiva deformacija (po znaku).

osnova, a najčešće metodom nanošenja karakterističnih rezova. U Institutu za pouzdanost i vek trajanja mašina AN BSSR, za proučavanje dinamike habanja vodica, bez demontaže istih, koristi se metod površinskog ozračivanja. Za ozračivanje elemenata većih dimenzija razradena je metodologija radioaktivnih čepova i tehnologija njihovog postavljanja na kontaktну površinu.

Na bazi rezultata merenja grafički se formira polazni profil vodica-linija I (slika 21, a, b, c). Od krajnjih tačaka profila, po vertikali u pravcu habanja, a u izabranoj razmeri, nanose se duži aa' i bb', koje su po veličini jednake linearном habanju u tim tačkama. Tako dobijene tačke a' i b' spajaju se pravom linijom koja služi kao osnova za

formiranje konačnog profila vođica-linija II. Polje između početnog i konačnog profila karakteriše opštu promenu oblika grana vodice. Od tačke početnog profila u pravcu habanja nanose se odsečci koji odgovaraju vrednosti linearne habanje, određenog metodama veštačkih osnova ili radioaktivnih čepova. Tako dobijene tačke spajaju se izlomljennom linijom III.

Odnos delova površina između linija I, II i III pokazuje uticaj pojedinih faktora (habanje, savijanje) na izmenu profila vodice u procesu eksploatacije. Na slici 21,a prikazano je formiranje konačnog profila vodice, nastalog kao rezultat ukupnog habanja i deformisanja; na slici 21,b — kao rezultat habanja, delom kompenziranog deformisnjem usmerenim u suprotnu stranu; na slici 21,c — predstavljen je slučaj sa, po znaku, naizmenično promenljivim deformisnjem. Pošto je nepovratnost promene geometrije vodica vezana sa habanjem to je oblik radne površine L funkcija parametra habanja $L = L [u(t)]$.

Eksploatacione osobine elemenata mašina su funkcija kako maksimalne vrednosti parametra habanja u_{max} , tako i stepena neravnomernosti njegove raspodele Δ_i duž kontaktnih površina (dijagrama habanja).

Dijagram habanja kontaktnih površina u nekoj tački M, određenoj koordinatama x, y i z, zavisi od raspodele specifičnih pritisaka $p(M)$, relativnih pomeranja kontaktnih elemenata $S(M)$, podmazivanja kontaktnih površina (debljine uljnog filma) $\delta_M(M)$, količine abrazivnih čestica i produkata habanja u zoni kontakta (koncentracije abrazivnih čestica i produkata habanja) $q_{ab}(M)$ i temperature u zoni kontakta $T^o(M)$.

Prema tome sledi relacija:

$$U(M,t) = \psi [p(M), S(M), \delta_M(M), q_{ab}(M), T^o(M), t].$$

U većini slučajeva promena oblika kontaktnе površine, u procesu habanja, utiče i na raspodelu specifičnih pritisaka, debljinu uljnog filma i raspodelu temperature, to jest:

$$p(M) = f_1(L, \delta_M(M)) = f_2(L, T^o(M)) = f_3(L).$$

Otuda promena mikrogeometrije kontaktnih površina se prikazuju relacijama oblika:

$$L(M_1, \dots, M_n, O) = L^o(M_1, \dots, M_n); \quad (8)$$

$$L[M_1, \dots, M_n, U_{max}(t_k) + \lambda_i(t_k)] = L\{M_1, \dots, M_n, U_{max}(t_k), \lambda_i(t_k)\} L[M_1, \dots, M_n, U_{max}(t_k)]$$

$$L[M_1, \dots, M_n, \Delta_i(t_k) + \lambda'_i(t_k)] = L\{M_1, \dots, M_n, \Delta_i(t_k), \lambda'_i(t_k), L[M_1, \dots, M_n, \Delta_i(t_k)]\}$$

gde su: M_1, \dots, M_n — tačke na kontaktnim površinama sa koordinatama x_i, y_i, z_i , $i = 1, \dots, n$, $L^o(M_1, \dots, M_n)$ — polazni oblik kontaktnih površina, $\Delta_i(t_k)$ — veličina neravnomernosti habanja kontaktnih površina u momentu t_k :

$$\Delta_i(t_k) = U_{max}(t_k) - U_{min}(t_k);$$

$\lambda_i(t_k), \lambda'_i(t_k)$ — promena maksimalne vrednosti parametra habanja i neravnomernosti raspodele habanja u vremenskom intervalu Δt :

$$\lambda_i(t_k) = U_{max}(t_k + \Delta t) - U_{max}(t_k);$$

$$\lambda'_i(t_k) = \Delta_i(t_k + \Delta t) - \Delta_i(t_k).$$

3. UTICAJ TEHNOLOŠKOG I EKSPLOATACIONOG NASLEĐA NA RADNU SPOSOBNOST I VEK TRAJANJA MASINA

Kvalitet izrade elemenata, određen parametrima hravastosti površina, veličinom geometrijske greške i različitim fiziko-mehaničkim parametara, zavisi od niza pojava nasledne prirode. Greške elemenata utiču na tačnost relativnih pomeranja, gubitak energije pri trenju, krutost para ili mehanizma i druge parametre proizvoda. Na primer, valovitost prstena kotrljajućeg ležišta znatno utiče na nivo vibracije i vek trajanja. Povećanje visine talasa na žlebovima unutrašnjeg prstena kotrljajućeg ležišta tipa No. 307 od 0,1—2,5 μm izaziva povećanje nivoa vibracija od 72—88 dB, a povećanje visine talasa žleba spoljašnjeg prstena od 0,25—3 μm, povećanje nivoa vibracija od 73,5—84 dB. Srednji vek trajanja kugličnih ležišta smanjuje se i do 2 puta pri povećanju visine talasa od 0,5 na 1—2,5 μm.

Nepralelnost čeonih površina vratila dovodi do krivljenja ose vratila i povećanja amplituda njihovog oscilovanja u procesu rada. Pri montaži elemenata izrađenih sa minimalnim greškama, ili »idealno« tačnih, kod sklopa se može pojaviti značajno odstupanje parametara usled deformacije elemenata. Kao rezultat, na primer, nepravilnog postavljanja kliznog ležišta motora sa unutrašnjim sagorevanjem dolazi do promene oblike posteljice i oslonca kole nastog vratila, zazora vratila i ležišta i sličnih grešaka, što dovodi do pogoršavanja uslova podmazivanja i smanjenja veka trajanja.

Velička uloga u povećanju produktivnosti rada i kvaliteta proizvoda pripada metodama usavršavanja tehnologije izrade, montaže, kontrole i brzih ispitivanja. U tom pravcu perspektivno se razraduju metode bezkontaktnog merenja trajektorije kretanja elemenata, elastičnih i plastičnih deformacija, kao i brze visokoosetljive metode ispitivanja i kontrole habanja bez demontaže (metode površinskog ozračivanja). Uočljivo je da pri serijskoj izradi automobila, traktora, kombajna i drugih mašina na montažu otpada 20—25% opštег obima rada i 50—60% pri generalnom remontu. Obim montažnih radova se znatno povećava pri povećanju tačnosti izrade proizvoda. Odnos troškova montaže mašina normalne i povišene tačnosti je 1:10.

U procesu eksploatacije parametri parova trenja, se menjaju pod dejstvom dinamičkih i temperaturnih faktora, starenja materijala i habanja elemenata. Često je greška montaže uslovljena kvalitetom izrade elemenata i tehnološkim nasleđem. Greška izaziva i nepovratnu promenu parametara koji odražavaju eksploataciono nasleđe elemenata. Upravo u tome se ogleda zavisnost negativnih faktora tehnološkog nasleđa i pojave eksploatacionog nasleđa. Istu karakteriše zavisnost gubitka radne sposobnosti proizvoda i redosleda dejstva različitih eksploatacionalih opterećenja. U opštem slučaju parovi trenja predstavljaju nelinearan dinamički sistem prikazan relacijom:

$$\varphi_n(X, X'X'', \dots, H, H'H'', \dots) = 0. \quad (9)$$

Međutim, kod mnogih sistema nelinearnost je relativno slabo izražena u vidu ravnomerno nagnutih krivih statističkih karakteristika sistema, pri odgovarajućim ograničenjima diapazona ispitivanih parametara i istu je moguće prikazati linearnim aproksimacijama. To dozvoljava korišćenje matematičkog aparata linearnih sistema automatskog upravljanja za opisivanje i analizu parova trenja.

Ustanovljeni režim rada sistema odgovara vrednostima ulaznih i izlaznih veličina X_0 i H_0 , dok je odstupanje X od X_0 zanemarljivo malo. Razlaganjem nelinearne funkcije 9 u Tajlorov red, u tački ustanovljenog režima, dobija se linearna diferencijalna jednačina:

$$\begin{aligned} & \left(\frac{\partial \varphi_n}{\partial X} \right)_0 \Delta X + \left(\frac{\partial \varphi_n}{\partial X'} \right)_0 \Delta X' + \left(\frac{\partial \varphi_n}{\partial X''} \right)_0 \Delta X'' + \dots + \\ & \left(\frac{\partial \varphi_n}{\partial H} \right)_0 \Delta H + \left(\frac{\partial \varphi_n}{\partial H'} \right)_0 \Delta H' + \left(\frac{\partial \varphi_n}{\partial H''} \right)_0 \Delta H'' + \dots = 0. \end{aligned} \quad (10)$$

Jednačina 10 se može napisati u obliku:

(11)

$$(T_1^2 p_t^2 + T_2 p_t + 1) h^o = (k_1^o + k_2^o p_t + k_3^o p_t^2) x^o.$$

U istoj su: $p_t \equiv d/dt$ — operator diferenciranja po vremenu, x^o , h^o — priraštaj promenljivih u relativnim jedinicama $x^o = \Delta X/X_0$, $h^o = \Delta H/H_0$, k_1^o , k_2^o , k_3^o — koeficijenti prenosa:

$$k_1^o = -\frac{(\partial \varphi_n / \partial X)_o}{(\partial \varphi_n / \partial H)_o} \frac{X_o}{H_o}; \quad k_2^o = -\frac{(\partial \varphi_n / \partial X')_o}{(\partial \varphi_n / \partial H)_o} \frac{X_o}{H_o};$$

$$k_3^o = -\frac{(\partial \varphi_n / \partial X'')_o}{(\partial \varphi_n / \partial H)_o} \frac{X_o}{H_o};$$

T_1 , T_2 — konstante vremena:

$$T_1^2 = \frac{(\partial \varphi_n / \partial H'')_o}{(\partial \varphi_n / \partial H)_o}; \quad T_2 = \frac{(\partial \varphi_n / \partial H')_o}{(\partial \varphi_n / \partial H)_o}.$$

Jednačina 11 prikazana preko prenosne funkcije $W_p(p_t)$ ima oblik:

$$h^o = W_p(p_t) x^o,$$

gde je:

$$W_p(p_t) = \frac{k_1^o + k_2^o p_t + k_3^o p_t^2}{T_1^2 p_t^2 + T_2 p_t + 1}.$$

Sistem sa n -ulaza se opisuje diferencijalnom jednačinom oblika:

$$Q(p_t) h^o = \sum_{i=1}^n R_i(p_t) x_i^o,$$

ili:

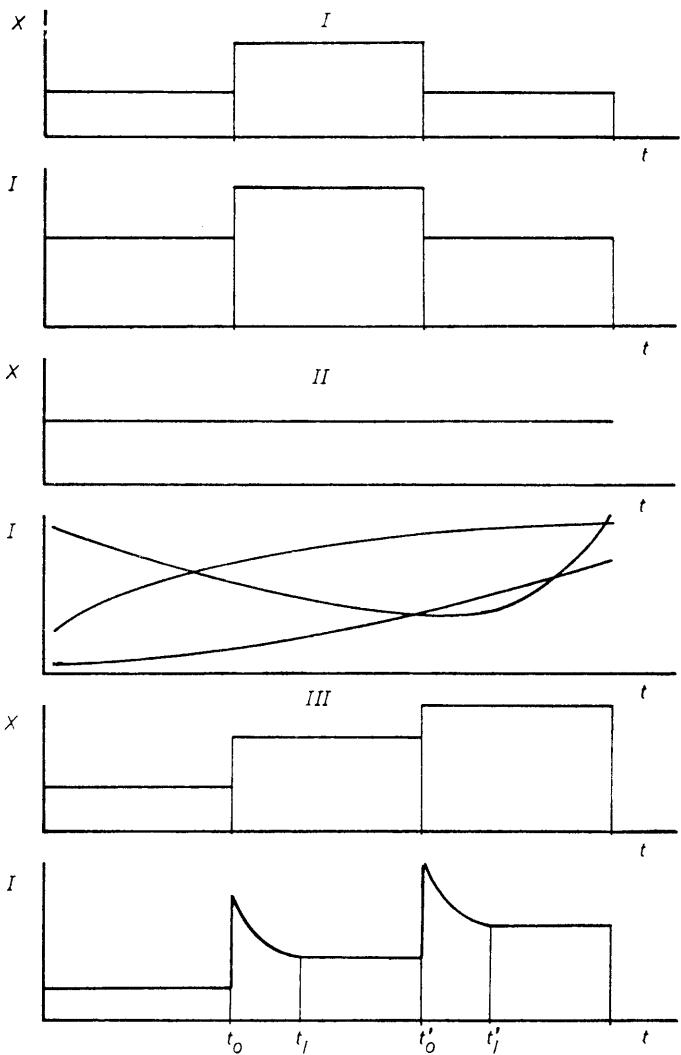
$$h^o = \sum_{i=1}^n W_{pi}(p_t) x_i^o.$$

Ovde je x_i^o — ulazno dejstvo na sistem $i = 1, 2, \dots, n$; $Q(p_t)$, $R_i(p_t)$ — odgovarajući polinomi; $W_{pi}(p_t)$ — prenosna funkcija sistema za i -to međudejstvo:

$$W_{pi}(p_t) = R_i(p_t) / Q(p_t).$$

Polinom $R_i(p_t)$ se menja u zavisnosti od odnosa ulaznih i izlaznih parametara. Polinom $Q(p_t)$ predstavlja karakteristiku sistema i ako se isti izjednači sa nulom, moguće je dobiti karakterističnu jednačinu čiji koren određuju oblik parcijalnih rešenja sistema.

Procesi habanja kontaktnih površina dovode do promene kontaktnе čvrstoće pokretnih sklopova i povećanja zazora, to jest do promene parametara dinamičkog sistema i njegovih prenosnih funkcija. Zato je neophodno, pri ispitivanju veka trajanja sistema, isti posmatrati kao nestacionarni sistem sa laganom promenom parametara u toku vremena. Međutim, za određivanje vrednosti izlaznog parametra sistema, u toku relativno kratkog vremenskog perioda, moguće je sistem smatrati stacionarnim pri utvrđenim režimima rada i ako je promena parametara u toku vremena relativno neznačajna. Pri tome je neophodno uzeti u obzir



Sl. 22. — Zavisnost intenziteta habanja $I(t)$ parova trenja od vremena rada t : I — samo od veličine naprezanja u momentu vremena t , II — pri $X = \text{const}$ i naknadnog perioda rada, III — pri stepenastoj promeni opterećenja

opšte vreme rada sistema T i predistoriju opterećenja, od koje zavise vrednosti parametara sistema u datom momentu. Na taj način prenosna funkcija:

$$W_p = W_p(X_1, X_{1-1}, \dots, X_{1-m}; T),$$

odražava zavisnost eksploatacionog nasledja sistema uslovljenog eksploatacionim nasledima promenljivih materijala i kontaktnih parova.

Model procesa gubitka radne sposobnosti parova bez naknadnog dejstva (slike 22 I, 23 I i tablica 3)

Pri odsustvu naknadnog dejstva intenzitet habanja I zavisi samo od veličine naznačenog opterećenja X :

$$I(t) = f_n[X(t)]; \quad H(t) = g_n[X(t), U(t), t]. \quad (12)$$

U tablici 3 kao primer elemenata čije habanje, pri $X = \text{const}$ i utvrđenim režimima trenja, nema naknadno dejstvo, prikazane su vodice alatnih mašina i klipni prsten presvučen tankim slojem tvrdog metala. Opterećenje ovih elemenata je specifični pritisak na kontaktnim površinama, brzina relativnog klizanja kontaktnih površina i temperatura u zoni kontakta. Za ocenu resursa radne sposobnosti

izabrani su sledeći parametri: linearno habanje u — za vodice, spoljašnji prečnik D — za prstenove. Izbor parametra, u konkretnom slučaju, zavisi od cilja ispitivanja (ocena veka trajanja, uporedna ocena otpornosti na habanje, ocena dinamičkih osobina sistema uzimajući u obzir habanje njegovih elemenata i slično). To ne isključuje mogućnost da se za jedan te isti elemenat, a za različite parametre, ne može pojaviti naknadno dejstvo. Izbor je uslovljen oblikom zavisnosti (linearna ili nelinearna) parametara habanja i resursa radne sposobnosti objekta. Proces gubitka radne sposobnosti u periodu uhodavanja i katastrofalnog razaranja površinskih slojeva nije moguće opisati jednačinom 12, jer je intenzitet habanja u tom periodu različit i zavisi od veličine parametra habanja kontaktne površine.

Ako se habanje posmatra kao neprekidan stohastički proces moguće je priraštaj habanja, pri konstantnim uslovima trenja bez naknadnog dejstva, izraziti relacijom:

$$U(\Delta t) = U(t + \Delta t) - U(t).$$

Priraštaj habanja, u tom slučaju, ne zavisi od vremena (proces sa nezavisnim priraštajem), tako da je brzina habanja $V = dU/dt$ stacionarni proces, a korelaciona funkcija $K_V(t_1, t_2)$ zavisi samo od razlike $t_2 - t_1$.

Model procesa gubitka radne sposobnosti parova sa naknadnim dejstvom prvog tipa (slike 22 II, 23 II i tablica 3)

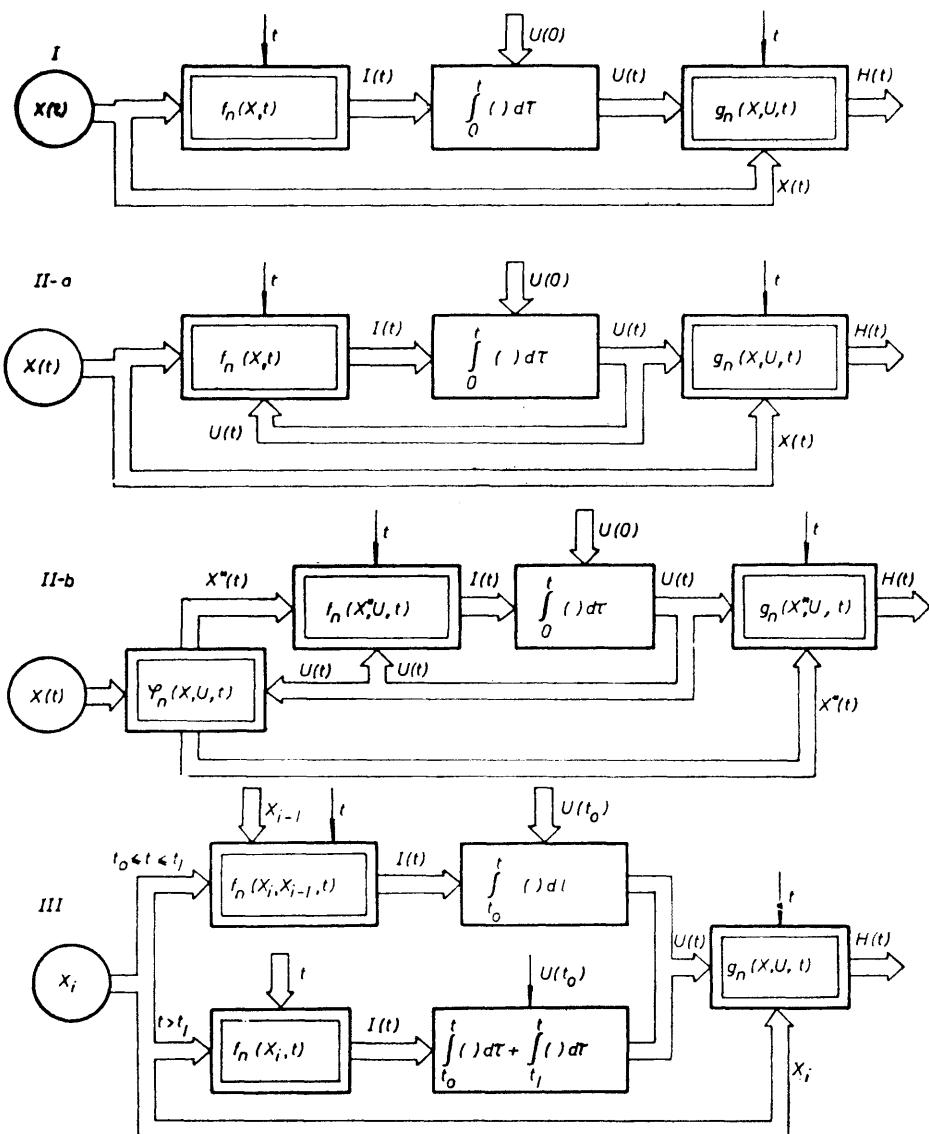
U datom slučaju intenzitet habanja zavisi kako od veličine opterećenja tako i od veličine parametra habanja u posmatranom trenutku:

$$\begin{aligned} I(t) &= f_n[X(t), U(t), t] \\ H(t) &= g_n[X(t), U(t), t] \end{aligned} \quad (13)$$

$$\begin{aligned} I(t) &= f_n[X^*(t), U(t), t] \\ H(t) &= g_n[X^*(t), U(t), t] \\ X^*(t) &= \varphi_n[X(t), U(t), t] \end{aligned} \quad (14)$$

Promena intenziteta habanja sklopova sa vremenom, pri konstantnim spoljašnjim opterećenjima, je izazvana:

1. — razlikom fizičko-mehaničkih osobina materijala po dubini površinskog sloja. Ista je uslovljena tehnologijom izrade elemenata (hemijsko-termička obrada, površinsko otvrđivanje, pojava tvrdih mesta i slično),



Sl. 23. — Blok-sHEMA sistema: I — bez naknadnog dejstva, II-a, II-b — sa naknadnim dejstvom prvog tipa, III — sa naknadnim dejstvom drugog tipa

2. — starenjem sredstva za podmazivanje i pogoršanjem mazivnih svojstava, što dovodi i do promene toplotnog režima rada sklopova, a često i izmene oblika habanja,
3. — povećanjem koncentracije abrazivnih čestica i produkata habanja u sredstvu za podmazivanje,
4. — promenom veličine i karaktera opterećenja parova X^* usled habanja. Promena nastaje kao rezultat povećanja zazora, transformacije mikrogeometrije kontaktnih površina usled habanja i savijanja elemenata, promene kontaktne čvrstoće nosećih elemenata, to jest promene prenosne funkcije W_{pi} čvorova sistema. Pri tome se pod čvorom sistema podrazumeva odgovarajući kontaktni par mašine.

Model naknadnog dejstva prikazan formulom 13 i blok šemom II-a je uslovjen uzrocima 1—3, dok je drugi model prikazan formulom 14 i blok šemom II-b, četvrtim uzorkom (slika 23).

Razmatrani modeli procesa gubitka radne sposobnosti sa naknadnim dejstvom prvog tipa se odnose na procese sa tesnom korelacijom. Kod istih postoji određena zavisnost veličina $H_i(\Delta t)$ i $H_{i+1}(\Delta t)$ već pri relativno manjim vrednostima $\Theta = t_{i+1} - t_i$. Ovde je:

$$H_i(\Delta t) = H(t_i^- + \Delta t) - H(t_i),$$

$$H_{i+1}(\Delta t) = H(t_{i+1}^- + \Delta t) - H(t_{i+1}) \text{ pri } t_i^- < t_{i+1}.$$

Model gubitka radne sposobnosti sa naknadnim dejstvom drugog tipa (slika 22 III, 23 III i tablica 3)

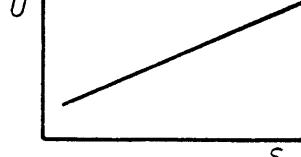
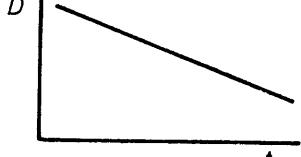
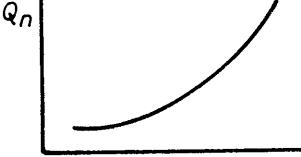
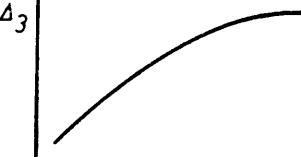
Naknadno dejstvo drugog tipa nastaje pri promeni opterećenja kontaktnih površina sa karakterističnim prelaznim periodima. U prelaznom periodu $[t_0, t_1]$ intenzitet habanja se razlikuje od vrednosti intenziteta na prethodnom nivou opterećenja X_{i-1} i od vrednosti koje odgovaraju sledećem nivou opterećenja X_i :

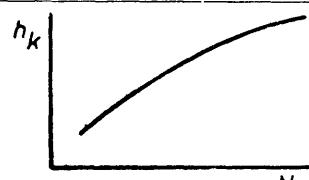
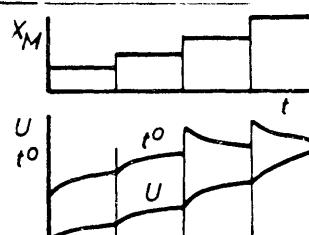
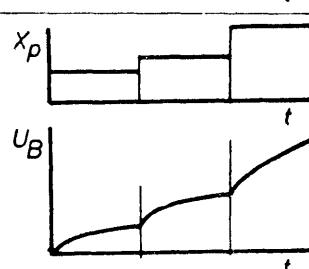
$$I(t) = \begin{cases} f_n(X_i, \dots, X_{i-n}, t) & t_0 \leq t \leq t_1 \\ f_n(X_i, t) & t > t_1 \end{cases} \quad (15)$$

$$H(t) = g[X(t), U(t), t].$$

Nastanak prelaznih perioda se objašnjava: 1 — eksploracionim nasleđem materijala površinskih slojeva, 2 — izmenom dijagrama specifičnih pritisaka u zoni kontakta elemenata pri prelazu sa jednog na drugi nivo opterećenja, a time i pojmom »sekundarnog uhodavanja« kontaktnih površina, 3 — postepenim uspostavljanjem odnosa veličine opterećenja i raspodele sredstava za podmazivanje kontaktnih površina.

TABELA 3. Elementi i parovi mašina, promena parametara kojoj odgovaraju različiti modeli procesa gubitka radne sposobnosti

MODELI PROCESA GUBITKA RADNE SPOSOB.		PARAMETRI ELEMENATA I PAROVA TRENJA SA RAZLICITIM KARAKTERISTIKAMA PROMENE KONTROLISANOG PARAMETRA SA VREMENOM			
Pojova i oblik	Oznaka	Proizvod	Kontrolisani parametar	Karakter promene kontrolis. param.	Osnovni mehanizmi habanja
1	2	3	4	5	6
BEZ NAKNADNOG DEJSTVA	I	Vodice strugova	Linearno habanje U u zavisnosti od puta trenja S , $X = \text{const.}$		Mehanički oblik habanja. Intenzitet habanja konstantan.
		Klipni prstenvi presvučeni tvrdim metalom	Prečnik prstena D u zavisnosti od vremena t , $X = \text{const.}$		Mehanički oblik habanja. Intenzitet habanja konstantan.
NAKNADNO DEJSTVO PRVOG TIPOA	II	Hidraulični cilindar	Protok u jedinici vremena Q_n u zavisnosti od puta trenja S , $X = \text{const.}$		Razaranje usled zamora. Intenzitet habanja promenljiv.
		Aksijalna klipna pumpa	Zazor između cilindra i klipa Δ_3 u zavisnosti od vremena t , $X = \text{const.}$		Mehano-hemijski oblik abrazivnog habanja. Intenzitet habanja promenljiv.

1	2	3	4	5	6
NAKNADNO DEJSTVO DRUGOG TIPOA	III	Ventil hidrosistema	Protok u jedinici vremena Q_n u zavisnosti od broja ciklusa N , $X = \text{const.}$		Mehano-hemijsko habanje. Intenzitet habanja je promenljiv.
		Kuglično ležište	Dužina puta kontroljanja h_k u zavisnosti od broja ciklusa N , $X = \text{const.}$		Zamorno habanje pri elastično-plastičnom kontaktu.
NAKNADNO DEJSTVO DRUGOG TIPOA	III	Zupčanici	Habanje U i temperatura t^0 pri stepenastoj promeni momenta X_M		Mehaničko i zamorno habanje. Naglo povećanje habanja i temperature.
		Segment kliznog ležišta	Težinsko habanje U_B u zavisnosti od vremena pri stepenastoj promeni pritiska X_p		Mehaničko i zamorno habanje. Naglo povećanje habanja i temperature.

U zavisnosti od oblika međusobne povezanosti parametara habanja U i odgovarajućih parametara H prelazni period ima karakteristični odsečak, koji odgovara svakom od elemenata tehnološkog — tehničkog sistema (maštine). Polazeći od prikazanih razmatranja fizičke prirode naknadnog dejstva drugog tipa, moguće je zaključiti da proces habanja u prelaznom periodu $[t_0, t_1]$ ima tesnu korelaciju zavisnost priraštaja parametra habanja $U_i(\Delta t)$ i $U_{i+1}(\Delta t)$.

Prema tome različiti tipovi naknadnih dejstava su uslovjeni sledećim faktorima: mikro- i makrogeometrija kontaktnih površina, fizičko-mehaničke osobine površinskih slojeva elemenata i osobnosti raspodele hemijskih elemenata, strukturne komponente i različiti tipovi neusavršenosti kristalnih rešetki po dubini, uslovi podmazivanja kontaktnih površina, karakter i veličina opterećenja, posmatrani parametri. Proces gubitka radne sposobnosti sa naknadnim dejstvom karakteriše tesna korelacija zavisnost priraštaja parametara habanja $U_i(\Delta t)$ i $U_{i+1}(\Delta t)$ ili promene odgovarajućeg parametra $H_i(\Delta t)$ i $H_{i+1}(\Delta t)$.

Pri promenljivom opterećenju realnih sklopova, proces gubitka radne sposobnosti može pratiti i naknadno dejstvo prvog i naknadno dejstvo drugog tipa. Zato je pri projektovanju sklopova neophodno uzeti u obzir ne samo srednje i maksimalne vrednosti opterećenja, već i karakter njihove promene. Time je omogućeno sagledavanje uticaja faktora eksploatacionog nasleđa na vek trajanja.

4. MODELIRANJE TEHNOLOŠKIH PROCESA I PROCESA GUBITKA RADNE SPOSOBNOSTI SKLOPOVA MAŠINA U USLOVIMA POJAVE TEHNOLOŠKOG I EKSPLOATACIONOG NASLEĐA

Mogućnost upravljanja tehnološkim i eksploatacionim nasleđem maština na stadijumu njihovog projektovanja i izrade, može biti realizovana različitim postupcima modeli-

ranja. Perspektivne metode modeliranja su metode zasnovane na opisivanju tehnoloških procesa primenom teorije grafova i njihovom prikazivanju u vidu višedimenzionog matematičkog modela. Modeliranje procesa gubitka radne sposobnosti sklopova povezano je sa razradom dinamičkih modela ispitivanih objekata.

Opisivanje mehanizma tehnološkog nasleđa primenom teorije grafova

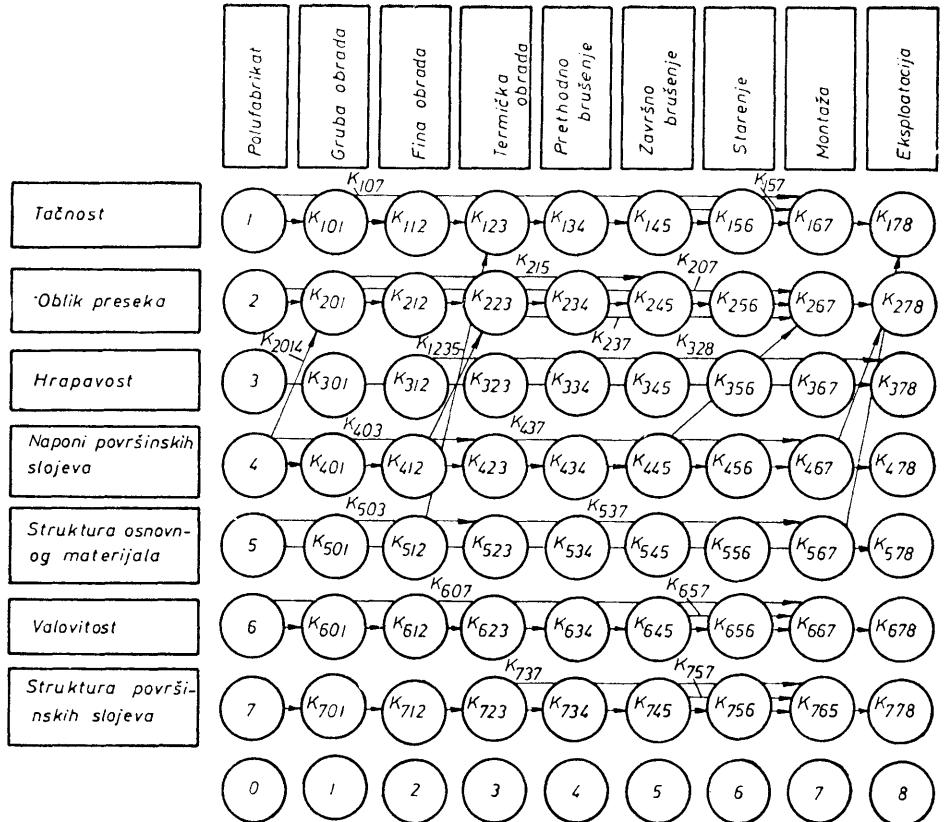
Međusobna zavisnost geometrijskih, fizičko-mehaničkih i drugih parametara elemenata na različitim stadijumima obrade i montaže se prikazuje elementima teorije grafova. Čvorovi grafova odgovaraju vrednostima parametara nakon odgovarajućih tehnoloških operacija. Pojava nasledne povezanosti razmatranog parametra se prikazuje u vidu orijentisane grane grafa, a njegovo odsustvo u vidu neorijentisane grane. Na slici 24 prikazan je graf tehnološkog procesa u kome je ucrtana veza parametara ne samo između pojedinih operacija obrade i montaže, već i njihova veza sa parametrima u eksploatacionim uslovima. Ovde je k_1 koeficijent promene j-tog parametra elementa pri prelazu od i-te operacije obrade ili montaže ka z-toj operaciji ili periodu rada. Koeficijent promene parametra se definiše odnosima:

$k_1 = \delta_i / \delta_{i+n}$ — koeficijent promene tačnosti dimenzija (δ — dozvoljeno odstupanje dimenzija, i — broj tekuće operacije ili prolaza, n — broj operacije ili prolaza nakon i-te),

$k_2 = \Delta_i / \Delta_{i+n}$ — koeficijent promene oblika poprečnog preseka polufabrikata ili elementa (Δ — odstupanje oblika),

$k_3 = R_{ai} / R_{ai+n}$ — koeficijent promene parametara hraptavosti itd.

Sl. 24. — Graf tehnološkog procesa



Ako je koeficijent $k = 1$, osobine predmeta obrade se u potpunosti prenose od operacije do operacije. Pri projektovanju tehnoloških procesa treba uzeti u obzir određenu monotonost promene koeficijenta k . Pozitivne osobine elementa treba usavršavati. Naime, bolji tehnološki proces je onaj kod koga se ne javljaju negativne osobine ili kod koga se iste otklanjaju odmah nakon nastanka. Pri pojavi negativnih osobina $k > 1$. Koeficijent k treba da je znatno veći kod operacija prethodne nego kod operacija završne obrade. Takva tvrdnja zasniva se na tehno-ekonomskim proračunima, saglasno kojima je najcelishodnije likvidirati negativne osobine elemenata operacijama prethodne obrade, jer su troškovi istih znatno niži od troškova završne obrade.

Osnov za proračun vrednosti koeficijenta k je zavisnost ulaznih h_n i izlaznih h_{n+1} parametara proizvoda:

$$h_{n+1} = ah_n^b, \quad (16)$$

gde su a i b — koeficijenti tehnološkog nasleđa.

Ako je poznata vrednost izlaznog parametra:

$$h_{n+1} = \frac{1}{k} h_n,$$

proizilazi:

$$k = \frac{h_n^{1-b}}{a}.$$

Za opisivanje i kvantitativnu ocenu pojave tehnološkog nasleđa mogu se koristiti i metode korelaceione analize. Preko njih se definije stepen nasledne povezanosti dve slučajne veličine.

Formiranje višedimenzionalnog matematičkog modela tehnoloških procesa

Tehnološki proces se može posmatrati kao struktturni sistem, čiji su elementi tehnološke operacije. Opšta struktura tehnološkog sistema je složeni višedimenzionalni sis-

tem kod koga se na ulazu nalaze različite karakteristike polufabrikata ($h_{10}, h_{20}, \dots, h_{m0}$), a na izlazu odgovarajući broj istih tih karakteristika za gotov proizvod ($h_{1p}, h_{2p}, \dots, h_{mp}$). Promena navedenih karakteristika u procesu izrade elementa uslovljena je dejstvom niza tehnoloških faktora ($t_{11}, t_{21}, \dots, t_{nl}$) za svaku operaciju φ_i ($i = 1, 2, \dots, p$) tehnološkog procesa. Pojava tehnološkog nasleđa izražena je u obliku zavisnosti 16. Tako, na primer, jedan od parametara kvaliteta obrade h_p nakon završnih operacija je određen relacijom oblike:

$$h_p = a_p h_{p-1}^{b_p}, \quad (17)$$

gde su a_p , b_p — koeficijenti tehnološkog nasleđa za operaciju φ_p ; h_{p-1} — parametar kvaliteta obrade (karakteristika tačnosti ili kvaliteta površina) nakon operacije φ_{p-1} .

Parametar h_{p-1} može se definisati na bazi analogne zavisnosti:

$$h_{p-1} = a_{p-1} h_{p-2}^{b_{p-1}},$$

gde je h_{p-2} — parametar kvaliteta obrade nakon operacije φ_{p-2} .

Istim postupkom mogu se definisati zavisnosti za sve operacije tehnološkog postupka. Nakon zamene ovih relacija u formulu 17 formira se opšti matematički model izmenje parametara kvaliteta obrade za kompletan tehnološki proces:

$$h_p = a_p a_{p-1} a_{p-2} \dots a_1 h_0^{b_p b_{p-1} b_{p-2} \dots b_1}, \quad (18)$$

Logaritmovanjem sledi relacija:

$$\ln h_p = \ln a_p + b_p \ln a_{p-1} + (b_p b_{p-1}) \ln a_{p-2} + \dots + (b_p b_{p-1} \dots b_1) \ln a_1 + (b_p b_{p-1} \dots b_1) \ln h_0. \quad (19)$$

Zamenom koeficijenta a_i :

$$a_i = k_{oi} t_{11}^{k_{11}} t_{21}^{k_{21}} \dots t_{nl}^{k_{nl}}. \quad (20)$$

u relaciju 19 proizilazi:

$$\begin{aligned} \ln h_p &= \ln(k_{0p} t_{1p}^{k_{1p}} t_{2p}^{k_{2p}} \dots t_{np}^{k_{np}}) + b_p \ln[k_{0(p-1)} t_{1(p-1)}^{k_{1(p-1)}} \\ &\quad \cdot t_{2(p-1)}^{k_{2(p-1)}} \dots t_{n(p-1)}^{k_{n(p-1)}}] + \dots + (b_{p-1} b_{p-2} \dots b_1) \cdot \dots + \\ &\quad \cdot [\ln[k_{01} t_{11}^{k_{11}} t_{21}^{k_{21}} \dots t_{n1}^{k_{n1}}] + \dots + (b_p b_{p-1} \dots b_1) \ln h_0]. \end{aligned} \quad (21)$$

Za pojednostavljenje datog izraza uvode se opšti koeficijenti tehnološkog nasleda:

$$\begin{aligned} C_1 &= b_p \\ C_2 &= b_p b_{p-1} \\ C_3 &= b_p b_{p-1} b_{p-2} \\ &\vdots \\ C_p &= b_p b_{p-1} b_{p-2} \dots b_1, \end{aligned} \quad (22)$$

čijom zamenom u relaciju 21, uz odgovarajuće matematičke transformacije, proizilazi:

$$\begin{aligned} \ln h_p &= [\ln k_{0p} + k_{1p} \ln t_{1p} + k_{2p} \ln t_{2p} + \dots + \\ &+ k_{np} \ln t_{np}] + C_1 [\ln k_{0(p-1)} + \ln t_{1(p-1)} + \dots + \\ &+ k_{n(p-1)} \ln t_{n(p-1)}] + \dots + C_p [\ln k_{01} + k_{11} \ln t_{11} + \\ &+ \dots + k_{n1} \ln t_{n1}] + C_p \ln h_0. \end{aligned} \quad (23)$$

Izraz 23 prikazuje kompletan tehnološki postupak obrade u vidu zbiru različitih dejstava kako operacija prethodne, tako i operacija završne obrade i, naravno, polaznog stanja polufabrikata. Dejstva su određena koeficijentima tehnološkog nasleda C_1, C_2, \dots, C_p .

Ako operacija φ_i predstavlja »tehnološku barijeru«, tada operacije prethodne obrade nemaju nikakvog uticaja, tako da su koeficijenti tehnološkog nasleda

$$p_{\varphi_i(p-1)} = b_n b_{n-1} \dots b_1, \quad C_{p-1}, \quad C_{p-1+1}, \dots, \quad C_p$$

jednaki nuli.

Izradu elemenata prati znatan broj karakterističnih parametara. Prema tome matematički model tehnološkog procesa se sastoji od sistema jednačina:

$$\begin{aligned} \ln h_{1,p} &= [\ln k_{1,0p} + k_{1,1p} \ln t_{1p} + \dots + k_{1,np} \ln t_{np}] + \\ &+ C_{1,1} [\ln k_{1,0(p-1)} + k_{1,1(p-1)} \ln t_{1(p-1)} + \dots + \\ &+ k_{1,n(p-1)} \ln t_{n(p-1)}] + \dots + C_{1,p} [\ln k_{1,01} + \\ &+ t_{1,11} \ln t_{11} + \dots + k_{1,n1} \ln t_{n1}] + C_{1,p} \ln h_{1,0}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \ln h_{2,p} &= [\ln k_{2,0p} + k_{2,1p} \ln t_{1p} + \dots + k_{2,np} \ln t_{np}] + \\ &+ C_{2,1} [\ln k_{2,0(p-1)} + k_{2,1(p-1)} \ln t_{1(p-1)} + \dots + \\ &+ k_{2,n(p-1)} \ln t_{n(p-1)}] + \dots + C_{2,p} [\ln k_{2,01} + \\ &+ k_{2,11} \ln t_{11} + \dots + k_{2,n1} \ln t_{n1}] + C_{2,p} \ln h_{2,0}; \end{aligned}$$

$$\dots$$

$$\begin{aligned} \ln h_{m,p} &= [\ln k_{m,0p} + k_{m,1p} \ln t_{1p} + \dots + k_{m,np} \ln t_{np}] + \\ &+ C_{m,1} [\ln k_{m,0(p-1)} + k_{m,1(p-1)} \ln t_{1(p-1)} + \dots + k_{m,n(p-1)} \ln t_{n(p-1)}] + \\ &+ \dots + C_{m,p} [\ln k_{m,01} + k_{m,11} \ln t_{11} + \dots + k_{m,n1} \ln t_{n1}] + \\ &+ C_{m,1p} \ln h_{m,0}. \end{aligned} \quad (24)$$

Veliki broj promenljivih u mnogome otežava rešavanje sistema jednačina. Uz uvodenje određenog broja pretpostavki sistem može biti rešen metodama dinamičkog programiranja. U radovima V. D. Cvjetkova primenjuje se metod višestrukog iterativnog postupka projektovanja tehnoloških postupaka. Isti se karakteriše razdvajanjem procesa projektovanja na niz različitih nivoa i razbijanju zadatka projektovanja na veći broj jednostavnijih. Pri tome se izvodi optimizacija kako parcijalno definisanih podataka, tako i zadatka u celini.

Kao funkcija za ocenu obično se koristi vrednost obrade tehnološke operacije. Međutim često je celishodno, kao funkciju kriterijuma, koristiti funkcionalnu zavisnost eksploracionih osobina od tehnoloških faktora obrade.

Modeliranje procesa gubitka radne sposobnosti sklopova mašina na elektronskom računaru

Za modeliranje gubitka radne sposobnosti sklopova, pri pojavi tehnološkog i eksploracionog nasleda, neophodno je ustanoviti zavisnost osnovnih parametara (tačnost pomeranja elementa, krutost itd.), karakteristika njihove radne sposobnosti i karakteristika kvaliteta izrade (konturna površina kontakta, veličina zazora itd.). U mnogim slučajevima takva zavisnost može biti ustanovljena formiranjem dinamičkih modela, jer se nasledne pojave, po pravilu, ogledaju u promenama veličine dinamičkih opterećenja i uslova trenja nastalih kao rezultat povećanja zazora. Pri tome se na odgovarajući način menja kontaktna čvrstoća i prenosna funkcija sistema.

Kao primer posmatra se metod modeliranja procesa gubitka radne sposobnosti brusilica za ravno brušenje tipa 3G71M. Glavno vreteno brusilice postavljeno na tri hidrodinamička ležišta tipa LON-34 ima mogućnost samopodesavanja u pravcu obrtanja i duž sopstvene ose. Samopodesavanje je obezbeđeno uvođenjem »tačkastog« oslonca. Nalime, u telu košuljice, na strogo određenom rastojanju od izlazne ivice, urađeno je sferično udubljenje u koje ulazi noseća površina vretena. Isto ima i navoj koji obezbeđuje pomeranje u radijalnom pravcu u cilju regulisanja radijalnog zazora i utvrđivanja određenog položaja ose vratila u odnosu na vodice radnog stola.

Osnovne radne karakteristike ležišta tipa LON-34 su noseća sposobnost, krutost i slične. Ove karakteristike zavise od veličine zazora nastalog kao rezultat promene montažnog zazora usled elastičnih i temperaturnih deformacija elemenata ležišta, vratila i kućišta.

Poznato je da geometrijski parametri kvaliteta obradjenih površina pri brušenju zavisi od veličine relativnih oscilacija sistema. Kod brusilica za ravno brušenje jedan od osnovnih uzroka pojave vibracija je neuravnoteženost točila. U različitim periodima rada mašine, usled habanja elemenata, razugljeničenja i pojave plastičnog deformisanja, neuravnoteženost točila izaziva različite amplitudne vibracije i dovodi do promene prvobitne tačnosti obrade. Pošto elastična pomeranja sistema čine 90% ukupnih pomeranja, pri čemu je osnovni deo pomeranja vezan za glavno vreteno i njegove oslonce, neophodno je oceniti uticaj promene krutosti glavnog vretena na geometrijske parametre obradene površine.

Glavno vreteno brusilice se može prikazati u vidu oscilatornog sistema sa jednim stepenom slobode. Sila F , koja izaziva periodično oscilovanje vratila, je određena relacijom:

$$F = j_v [(t_0 - t_f) - k_v] - k_v (t_f + y) + P_0 \sin \omega t.$$

U istoj su: ω — ugaona brzina obrtanja vratila, P_0 — amplituda prinudne sile, t_0 — nominalna dubina brušenja, t_f — fiktivna dubina brušenja, k_v — koeficijent koji karakteriše uslove brušenja, j_v — krutost vreteništa.

S obzirom da je:

$$j_v (t_0 - t_f) - k_v t_f = 0,$$

proizilazi:

$$F = -j_v y - k_v y + P_0 \sin \omega t.$$

Uvođenjem prigušenja sledi:

$$F = -j_v y - k_v y - c \ddot{y} + P_0 \sin \omega t,$$

gde je c — koeficijent prigušenja.

Pošto je $F = m_1 \ddot{y}$, diferencijalna jednačina oscilovanja ima oblik:

$$\ddot{y} + 2q\dot{y} + \lambda^2 y = D \sin \omega t,$$

gde su $2q = c/m_1$, $\lambda^2 = (j_v + k_v)/m_1$, $D = P_0/m_1$, a m_1 — masa sistema.

Prema tome ulazni parametar posmatranog sistema je pobudna sila uslovljena neuravnoteženošću točila. Izlazni parametar je valovitost obradene površine h_v , koja zavisi od amplitude i frekvencije oscilovanja vratila. Faktor koji karakteriše »starenje« sistema je promena krutosti sistema nastala usled nepovratnih procesa, kao što su habanje, plastično deformisanje i slični.

Opšte rešenje diferencijalne jednačine 25, pri $\lambda > q$, ima oblik:

$$y = e^{-qt} (c_1 \cos \lambda_1 t + c_2 \sin \lambda_1 t) + \frac{D}{\sqrt{(\lambda^2 - \omega^2)^2 + 4q^2\omega^2}} \sin (\omega t + \varphi), \quad (26)$$

gde su λ_1 , λ — frekvence slobodnih oscilacija pri pojavi prigušenja i bez njega ($q = 0$): $\lambda_1 = \sqrt{\lambda^2 - q^2}$.

Maksimalna visina talasa h_v obrađene površine, koja odgovara oscilovanju vratila pri utvrđenom procesu brušenja, iznosi:

$$h_v = \frac{2D}{\sqrt{(\lambda^2 - \omega^2)^2 + 4q^2\omega^2}}. \quad (27)$$

U slučajevima kada su prinudne oscilacije relativno daleke od oblasti rezonance datog sistema, formula 27 dobija uprošćeni oblik:

$$h_v = \frac{2D}{\lambda^2 - \omega^2}.$$

Ako se uzme u obzir da je period oscilovanja prinudne sile $t' \ll T'$, gde je T' — vremenski interval u kome dolazi do značajnije promene krutosti sistema, i pretpostavi da je nejednačina $\lambda > q$ promenljiva pri bilo kojoj vrednosti krutosti, tada se razmatrani sistem prikazuje relacijom:

$$h_v(T) = \frac{2D}{\lambda^2(T) - \omega^2} \quad (28)$$

$$\lambda^2(T) = \frac{j_v(T) + k_v}{m_1}.$$

Na osnovu eksperimentalnih ispitivanja glavnog vretena brusilice za ravno brušenje tipa 3G71M utvrđeno je da zavisnost 28 ima smisla pri krutostima sistema $j_v \leq 5 \cdot 10^7$ N/m. Pri $j_v > 5 \cdot 10^7$ N/m ova zavisnost ima oblik:

$$h_v(T) = \frac{2D}{\lambda_0^2 - \omega^2} + k_j [j_v(T) - j_{vo}]^2,$$

gde je:

$$\lambda_0^2 = (j_{vo} + k_v)/m_1, \quad j_{vo} = 5 \cdot 10^7 \text{ N/m}, \quad k_j =$$

konstanta.

Prema tome:

$$h_v(T) = \frac{2D}{\lambda^2(T) - \omega^2}, \quad j_v \leq 5 \cdot 10^7 \text{ N/m}, \quad (29)$$

$$h_v(T) = \frac{2D}{\lambda_0^2 - \omega^2} + k_j [j_v(T) - j_{vo}]^2, \quad j_v > 5 \cdot 10^7 \text{ N/m}.$$

Ispitivanja veka trajanja glavnih vretena brusilica sa hidrodinamičkim kliznim ležištima su bazirana na sledećim pretpostavkama:

1 — Habanje segmenata kliznih ležišta se javlja u momentima puštanja i zaustavljanja vratila, to jest u momentima kada ne postoji ulji film. Pri tome osnovni uticaj na proces habanja imaju abrazivne čestice.

2 — Smanjenje krutosti konstrukcije ležišta je rezultat plastičnog deformisanja i smanjenja prethodno formiranog momenta pritezanja zavrtnjeva korišćenih za vezivanje vreteništa i kućišta. Smanjenje momenta je rezultat cikličnosti opterećenja.

Prema tome, proces gubitka radne sposobnosti glavnog vretena je određen brzinom habanja i brzinom promene krutosti ležišta. Na osnovu usvojenih odstupanja i rezultata eksperimentalnih ispitivanja definiše se:

— srednja brzina habanja:

$$V_u = \frac{C_u V}{\delta^3} [\mu\text{m/h}] \quad (30)$$

— i srednja brzina promene krutosti konstrukcije:

$$V_{jk} = \frac{C_{jk} V}{\delta^3} [\text{N}/\mu\text{m}\text{h}], \quad (31)$$

gde su: v — frekvencija ciklusa »uključivanje — isključivanje« vratila, C_u , C_{jk} — koeficijenti koji uzimaju u obzir materijal elemenata ležišta, tehnologiju njihove izrade, kvalitet, radnu temperaturu i druge karakteristike sredstva za podmazivanje, δ — radijalni zazor.

Povećanjem radijalnog zazora smanjuje se količina abrazivnih čestica, a time i brzina habanja. Brzina promene krutosti je obrnuto proporcionalna veličini radijalnog zazora. Povećanjem zazora smanjuje se veličina opterećenja elemenata ležišta.

Zavisnosti 30 i 31 prikazuju eksploraciono nasleđe glavnog vretena za slučaj naknadnog dejstva prvog tipa. Ocena veka trajanja glavnog vretena pomoću računara se izvodi kroz niz operacija:

a — Planiranje kombinacija ulaznih parametara (konstruktivni parametri glavnog vretena, parametri uslova eksploracije) primenom metoda kvadrata, u cilju skraćenja broja računskih kombinacija za n^{m-2} puta, gde je m — broj parametara, n — broj nivoa parametara.

b — Proračun valovitosti obrađene površine korišćenjem relacije 29, pri određenoj kombinaciji ulaznih podataka u početnom momentu eksploracije mašine ($T = 0$).

c — Određivanje promene krutosti konstrukcije i zazora za vreme ΔT primenom relacija 30 i 31. Izračunavanje valovitosti h_v obrađene površine u momentu $T = T + \Delta T$ i upoređenje sa granično dopuštenim vrednostima valovitosti h_{vp} . Ako je $h_v < h_{vp}$ tada se posmatrana etapa ponavlja, ali za ΔT uvećano vreme.

d — Određivanje resursa radnog vremena T_{pr} ($T_{pr} = n_c \Delta T$, gde je n_c — broj ciklusa proračuna valovitosti obrađene površine pri određenoj kombinaciji ulaznih podataka) do postizanja granične vrednosti h_{vp} .

e — Ocena parametara raspodele resursa glavnog vretena u vezi sa slučajnim karakterom vrednosti zazora, uslovljenoj greškama izrade elemenata i sklopova vreteništa. Dobijene vrednosti zazora sa parametrima raspodele, na računaru, se razlikuju primenom generatora slučajnih brojeva. Većina grešaka ima naslednu prirodu i zavisi od tehnologije izrade elemenata. Prikazani program omogućuje ne samo ocenu veka trajanja pri različitim ulaznim podacima i izbor optimalnih parametara konstrukcije sa aspektom veka trajanja, već i izbor optimalnih uslova eksploracije glavnih vretena sa zadatim konstruktivnim parametrima.

Prema tome za adekvatno opisivanje procesa gubitka radne sposobnosti mnogih sklopova neophodno je razraditi vema složene modele. No, u nizu slučajeva za uporednu ocenu uticaja promene pojedinih parametara sklopa na njegovu radnu sposobnost i vek trajanja mogu se koristiti različiti već prikazani modeli.

5. METODE POVEĆANJA VEGA TRAJANJA ELEMENATA I SKLOPOVA

Od većeg broja metoda povećanja veka trajanja elemenata i sklopova posmatraju se one metode čije bi dalje usavršavanje dovelo do znatnijeg povećanja efektivnosti mera usmerenih na smanjenje uticaja negativnih faktora tehnološkog i eksploracionog nasledja.

Izbor optimalnih metoda obrade elemenata

U fazi projektovanja tehnoloških postupaka izrade nastaje veoma složen zadatak izbora najracionalnijeg redosleda tehnoloških operacija, koji bi obezbedio dobijanje zahtevnog kvaliteta elemenata pri minimalnim troškovima njihove izrade.

Određivanje optimalnog redosleda metoda izrade elemenata u mnogome je vezano sa promenama fizičko-mehaničkih osobina nastalim pri mehaničkoj i termičkoj obradi. Strukturno stanje čelika, formirano pri određenim vidovima termičke obrade, ne utiče samo na promenu mikrotvrdće, već u značajnom stepenu određuje veličinu i znak zaostalih naprezanja nakon završnih operacija mehaničke obrade elemenata. Uticaj strukture na promenu zaostalih naprezanja u potpovršinskim slojevima je evidentan ne samo nakon operacija prethodne obrade, već i nakon završnog brušenja elemenata. Pri tome karakter raspodele zaostalih naprezanja nakon prethodne obrade brušenjem zadržava se kako kod normalizovanih tako i kod kaljenih elemenata.

Za proizvodnju elemenata postoji dovoljno širok izbor poznatih metoda obrade. Pri tome se noseće površine obrađuju sve finijim postupcima obrade. U praksi se elementi proizvode sa geometrijskim karakteristikama i parametrima definisanim crtežom, bez ograničavanja drugih važnih karakteristika završno obrađenih elemenata (na primer: valovitost površina, mikrotvrdća površinskih slojeva, struktura, veličina i znak zaostalih naprezanja i sl.). Utvrđeno je i da različiti postupci završne obrade elemenata obezbeđuju, često, savršeno istu hrapavost i geometrijsku tačnost elemenata, ali i različite fizičke osobine od kojih u znatnom stepenu zavisi vek trajanja i pouzdanost rada elemenata.

U cilju dobijanja proizvoda određenih karakteristika mora se obratiti pažnja na svaku operaciju tehnološkog postupka. Pri tome svaka ima određenu vrednost odnosno određeni značaj, ali se posebna pažnja mora posvetiti izboru zadnje dve-tri operacije mehaničke obrade, jer iste najviše utiču na eksploracione osobine površinskih slojeva. Ukoliko je, na primer, pri jednakim uslovima izvedena obrada uključujući i operacije brušenja (7-me klase), tada naknadna jedna ili dve završne operacije (fino brušenje, poliranje ili superfiniš) dovode do različitih konačnih rezultata. Pravilan izbor operacija završne obrade moguće je samo na bazi poznatih zakonomernosti pojave tehnološkog nasledja. U cilju utvrđivanja ovih zakonomernosti prikazana su ispitivanja različitih vidova završne obrade. Pri tome je pokazano da uvođenje naknadnih operacija brušenja elastičnim tocilima (obično brušenje, brušenje elastičnim tocilima i poliranje) pri obradi prstenova kugličnih ležajeva, nekada, dovodi do nezнатног povećanja opšte složenosti izrade, ali se to ekonomski opravdava povećanjem veka trajanja i smanjenjem defekata hrapavosti i valovitosti obrađenih površina.

Dejstvo tehnoloških faktora na formiranje karakteristika kvaliteta površina na različitim etapama obrade otežava ocenu uticaja pojedinih metoda prethodne i završne obrade. Taj zadatak može biti rešen korišćenjem različitih metoda matematičke statistike i verovatnoće, u cilju adekvatnog planiranja i izvođenja eksperimenta i odgovarajuće obrade podataka. Primena različitih metoda matematičke teorije planiranja eksperimenta omogućuje rešavanje zadatka ispitivanja tehnološkog nasledja polazeći od metodologije jednofaktornog eksperimenta ka metodama kompleksnog višefaktornog ispitivanja razmatranih procesa. U radovima P. I. Jašericina, za izbor optimalnih metoda obrade predloženo je korišćenje disperzione analize i formiranje dijagrama ranga u cilju analize dejstva metoda prethodne i završne obrade na pojedine karakteristike kvaliteta površina i eksploracione osobine elemenata.

Formiranje specijalne mikrogeometrije elemenata

Povećanje veka trajanja sklopova može biti dostignuto za račun prethodne izmene oblika kontaktnih površina u skladu sa dijagramom habanja i temperaturnim deformacijama. Vek trajanja vođica preciznih brusilica za ravno brušenje sa horizontalnom osom glavnog vretena (brušenje periferijom tocila) uvećava se i do 1,5 puta, ako se isti ocenjuje preko veličine odstupanja oblika površine. Pri tome se u procesu uhoodavanja smanjuje greška obrade. Nakon određenog perioda rada, pak, kada je iscrpljen resurs radne sposobnosti, javlja se pojava pukotina i pogoršanje kvaliteta obrađenih površina. Na taj način smanjuje se negativni uticaj faktora eksploracionog nasledja na vek trajanja vođica.

Radna sposobnost cilindra motora sa unutrašnjim sagorevanjem se ocenjuje po veličini konusnosti i ovalnosti. Geometrijske greške oblika cilindra zavise od tehnologije

obrade i montaže, zagrevanja i pritisaka, dejstva inercijalnih sila i habanje kontaktnih površina. Obezbeđenje geometrijski idealnog oblika cilindra je praktično nemoguće, tako da je takav zadatak necelishodan sa aspekta dobijanja maksimalnog veka trajanja. Pri pojavi određene konusnosti i ovalnosti cilindra klipni prstenovi se lako prilagodjavaju i obezbeđuju dobro zaptivanje. Međutim, u cilju povećanja veka trajanja cilindra, greške oblika treba da budu na odgovarajući način orijentisane u odnosu na kolenasto vratilo vodeći računa o pravcu konusnosti i ovalnosti formiranih u toku eksploracije. Ukoliko je za motor karakteristična pojava ovalnosti duž ose u ravni kretanja kolena, tada se ovalnost cilindra može dozvoliti samo u pravcu ose kolenastog vratila ili nasuprot iste. Samo u tom slučaju vek trajanja cilindra može biti povećan i do 2 puta.

Promena geometrijskog oblika elemenata kliznih i kotrljajnih ležišta, rukovaca i kolena vratila je jedan od puteva smanjenja, a nekada i sprečavanja lokalnih kontakata, narušavanja pravilnosti sklopova uležištenja, a time i otklanjanje negativnih faktora tehnološkog i eksploracionog nasledja.

Ugradnja elemenata sa pasivnim vezama (elementi-kompenzatori)

Eksploraciono nasleđe uležištenja poljoprivrednih, šumskih i drugih mašina se ogleda u izmeni makrogeometrije ležišta, njihovog uzajamnog položaja, a takođe i promeni polaznog geometrijskog oblika nosećih površina kućišta i vratila. Na primer, kod kućišta reduktora šumskih mašina oslabljen oslonac ležišta izaziva zakošenje zupčanika i narušavanje sklopova. Povoljne pojave se uočavaju kod reduktora pomoćnih i radnih sklopova kombajna, pneumatskih motora i slično. Lokalno habanje i plastična deformacija kontaktnih površina nastala kao rezultat narušavanja kinematike sklopa, je reda desetih delova milimetra.

U vezi sa tim jedan od puteva povećanja veka trajanja je uvođenje elemenata koji kompenzuju greške nastale u procesu izrade, montaže, usled elastičnosti i temperaturnih deformacija, savijanja i habanja elemenata konstrukcije. Tako, na primer, neke konstrukcije kotrljajnih ležajeva su izvedene sa kućištima membranskog tipa. Povećanje veka trajanja valjčastih ležajeva putničkih vagona se može postići i postavljanjem plastičnih oslonaca ispod spoljašnjeg prstena ležišta. Nesamocentrirajuća kuglična ležišta su osetljivija na greške oblika i zakošenja, koja prate koncentraciju kontaktnih pritisaka i ubrzano razaranje usled zamora materijala.

Saradnici Instituta za pouzdanost i vek trajanja mašina na AN BSSR i Minske fabrike traktora izveli su uporedna ispitivanja različitih varijanti koničnih prenosnika traktora »Belarus« (serijski zupčanici, zupčanici postavljeni na vratila sa buričastim žlebovima, zupčanici sa elastičnim povezivanjem oboda i glavčine), pri opterećenju torzionim i protumenljivim izgibnim momentima. Habanje zupčanika je kontrolisano primenom metoda površinskog ozračivanja. Pri tome je pokazano da se, primenom različitih metoda prilagođavanja zupčanika, izbegava ivični kontakt pri sprezanju i smanjuje veličina parametra habanja za 1,4—1,5 puta.

Ugradnja elemenata sa aktivnim vezama (adaptivni sistemi)

Održavanje visokog nivoa tehničkih karakteristika mašina sa vremenom, nezavisno od različitih opterećenja, sistema regulisanja, razaranja površinskih slojeva i starenja materijala, je jedan od važnih zadataka savremene mašinogradnje. Naročiti značaj ova pitanja imaju kod preciznih mašina, kod kojih se javljaju veoma strogi zahtevi u pogledu obezbeđenja početnih pokazatelja tačnosti obrade i veka trajanja. Jedan od osnovnih pravaca rešavanja datog zadatka je stalno usavršavanje tehnološkog procesa uz uvođenje automatskog upravljanja. Mnogi opiti su pokazali da primena sistema automatskog (adaptivnog) upravljanja mašina obezbeđuje znatno povećanje produktivnosti rada i tačnosti obrade elemenata, formiranje povoljnijih uslova za optsluživanje većeg broja mašina istovremeno.

Postoji niz različitih metoda povećanja produktivnosti rada i tačnosti obrade elemenata korišćenjem principa samoregulisanja, upravljanja elastičnim pomeranjima i temperaturnim deformacijama sistema mašina — pribor — alat

— predmet obrade, hrapavošću obrađene površine, kvalitetom površinskog sloja, procesom postavljanja predmeta obrade i habanjem reznih elemenata alata.

Upravljanje elastičnim pomeranjima sistema mašina — pribor — predmet obrade — alat, hrapavošću i kvalitetom obrađene površine dovodi do smanjenja ili otklanjanja uticaja negativnih faktora tehnološkog nasleda (kopiranje geometrijskih greški, promena fizičko-mehaničkih osobina površinskih slojeva i slično) na formiranje eksplotacionih osobina elemenata.

Samo primenom sistema automatskog upravljanja (ispitivanja od strane N. A. Bušea) elastičnim pomeranjima, srednja produktivnost alatnih mašina se povećava za 30—300%, a tačnost obrade za 2—5 puta.

Upravljanje procesom postavljanja predmeta obrade, temperaturnim deformacijama i habanjem reznih elemenata alata omogućuje povećanje tačnosti obrade, jer je isključena greška baziranja i uvedena odgovarajuća korekcija dimenzija sa aspekta statičkog i dinamičkog regulisanja.

Postoji niz varijanti upravljanja tehnološkim procesima u cilju njihove optimizacije. Pri ispitivanju višedimenzionalnih sistema upravljanja, kada se upravljanje tačnošću ostvaruje putem promena u sistemu statičkog regulisanja, a brzina habanja reznih elemenata alata izmenom koraka, znatno se povećava produktivnost rada pri zauzimanju maksimalnih ulaznih parametara polufabrikata.

Međutim, korak se može menjati u veoma širokom dijapazonu, što može negativno uticati na kvalitet obrađene površine. Najčešće primenjivani način povećanja tačnosti obrade je upravljanje elastičnim pomeranjima promenom koraka, a brzinom habanja reznih elemenata variranjem brzine rezanja. Pri tome je neophodno da je krutost sistema takva da se kompenzacijom elastičnih pomeranja može izvesti relativno malim promenama koraka. Na efektivnost prikazanih metoda povećanja produktivnosti rada i tačnosti obrade utiče eksplotaciono nasleđe alatne mašine, koje se javlja u vidu određene promene tačnosti pomeranja elemenata i sklopova mašina, krutosti sistema i nivoa vibracija nastalih usled savijanja i habanja vodiča, ležišta glavnog vretena, zupčastih i pužnih prenosnika i slično. Na primer, vibracije glavnog vretena alatnih mašina nastale usled razregulisanja ili habanja ležišta ne mogu biti otklonjene upravljanjem elastičnim deformacijama sistema ili nekom od drugih metoda. Zbog toga se u sistemu adaptivnog upravljanja mašinama, uočava upravljanje odgovarajućim parametrima (tačnost pomeranja, krutost, vibracije).

A. S. Pronikov je predložio sistem automatske kompenzacije habanja vodiča mašina, koji se razlikuje od sistema aktivne kontrole, jer se ovde ne menja obradljivost elemenata, a izvodi se i regulisanje osnovnih tehničkih parametara mašina. U cilju zadržavanja početnog položaja suporta primenjuje se automatsko regulisanje vodiča vodila ili zidova primenom autokompenzatora (regulišućih oslonaca) u zavisnosti od veličine njihovog habanja. Kao baza služe specijalne površine ili kontrolni čepovi. Veoma složen zadatak predstavlja otklanjanje vibracija. U tom cilju se najčešće primenjuje postupak amortizovanja. U zavisnosti od karakteristika amortizera amortizuje se deo energije oscilovanja, ali se potpuno gašenje oscilacija nemože ostvariti. Postoje i metode automatskog otklanjanja vibracija. Iste su zasnovane na formiranju novih vibracija, suprotnih, po fazi, radnim oscilacijama mašine. Rezultat tako složenog oscilovanja je pojava gašenja vibracija. Suprotne oscilacije se realizuju pomoću monovibratora čiji su obrtni delovi određene neuravnoteženosti, koja se može regulisati. Režim rada monovibratora se automatski reguliše u skladu sa uslovima rada mašine.

U cilju povećanja tačnosti elemenata i veka trajanja brusilica sa žljebove, u Institutu za pouzdanost i vek trajanja mašina AN BSSR je razrađena konstrukcija električnog glavnog vretena sa automatskim regulisanjem krutosti oslonca vratila. To se postiže upravljanjem aksijalnim opterećenjima radikalno-aksijalnih ležišta u zavisnosti od veličine radikalnog pomeranja vratila u procesu rada. Pri takvom regulisanju vreteništa ostvaruje se ne samo automatsko upravljanje elastičnim pomeranjima, već i kompenzacija habanja ležišta i temperaturnih deformacija, to jest smanjenja negativnog uticaja faktora eksplotacionog nasleda na tačnost obrade. Primena elektro-vratila sa adaptivnom vezom pri brušenju spoljašnjih prstenova ležišta No. 305 na brusilici za brušenje žljebova tipa LŠ—29B dozvoljava smanjenje valovitosti obrađenih površina i do 1,5—2 puta.

ZAKLJUČCI

Iznalaženje i potpuno korišćenje svih rezervi povećanja pouzdanosti rada mašina vezano je za proučavanje fizičkih pojava, koje prate proces izrade i eksplotacije. Željeni rezultat se može ostvariti samo pri kompleksnim rešenjima ovog problema, to jest samo u uslovima kada je projektovanje mašina i tehnoloških procesa bazirano na analizi procesa gubitka radne sposobnosti u eksplotacionim uslovima. Pri tome pojedine delove treba razmatrati kao elemente konkretnog sistema sa vremenski promenljivim parametrima, jer dolazi do nastanka dopunskih dinamičkih opterećenja, promene kinematike, uslova trenja i podmazivanja. Optini konstruktori i tehnolozi polaze od mogućnosti promene uslova funkcionisanja mašina usled habanja elemenata, starenja materijala i razregulisanja mehanizama. Rešenja su zasnovana na postojećim opitim ili intuitivnim pretpostavkama. Međutim, za razradu efektivnih mera povećanja pouzdanosti rada mašina neophodno je raspolagati kvantitativnim zavisnostima eksplotacionih karakteristika i fizičko-mehaničkih osobina elemenata, uslovljenih određenim redosledom tehnoloških operacija. Prema tome veoma je značajno znati evoluciju osobina proizvoda, u procesu izrade i eksplotacije, u uslovima pojave tehnološkog i eksplotacionog nasleda.

Proučavanje procesa gubitka radne sposobnosti mašina zavisi u mnogome od usavršenosti metoda i sredstava ispitivanja dinamike mehanizama, deformisanja i habanja elemenata u procesu ispitivanja i eksplotacije. Na tom planu, primena radioaktivnih metoda kontrole habanja elemenata, bez demontaže sklopova, je veoma efektivna i omogućuje automatsko merenje habanja u toku rada.

Otklanjanje nastanka negativnih faktora tehnološkog i eksplotacionog nasleda se postiže smanjenjem brzine habanja elemenata. Znatno povećanje otpornosti na habanje sklopova se postiže pravilnim izborom konstruktivnih materijala elemenata. Pri tome je veoma značajna njihova prilagodljivost u procesu rada, kao i optimalni izbor redosleda metoda obrade elemenata, sredstava za podmazivanje, režima uhdavanja i slično.

Efektivne metode povećanja pouzdanosti rada su metode zasnovane na korišćenju principa samoregulisanja. Uvođenjem dopunskih elemenata ili sistema u konstrukciju alatnih mašina obezbeđuje se poboljšanje uslova rada mehanizama, sklopova i elemenata, otklanjanje različitih negativnih faktora nastalih kao rezultat elastičnih i temperaturnih deformacija, jer omogućuju povećanje produktivnosti rada i tačnosti obrade elemenata.

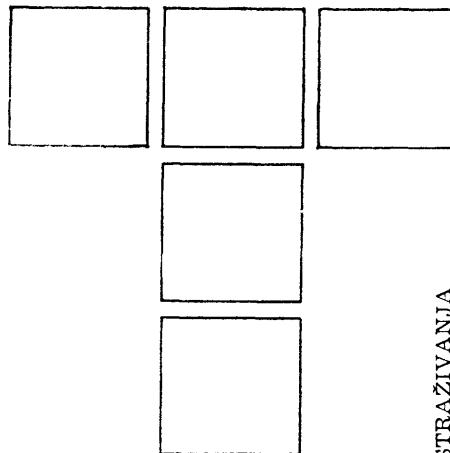
LITERATURA

1. РАБОТНОВ Ю. Н., Элементы наследственной механики твердых тел. М., „Наука“, 1977.
2. БЛЕНД Д., Теория линейной вязкоупругости. М., „Мир“, 1965.
3. БУГАКОВ И. И., Ползучесть полимерных материалов. М., „Наука“, 1973.
4. КРИСТЕНСЕН Р., Введение в теорию вязкоупругости. М., „Мир“, 1974.
5. ПОСТНИКОВ В. С., Внутреннее трение в металлах. М., „Металургия“, 1969.
6. ЯЩЕРЦЫН П. И., Технологическая наследственность и эксплуатационные свойства шлифованных деталей. Мн., „Наука и техника“, 1971.
7. ЯЩЕРЦЫН П. И., РЫЖОВ Э. В., АВЕРЧЕНКОВ В. И., Технологическая наследственность в машиностроении. Мн., „Наука и техника“, 1977.
8. ДАЛЬСКИЙ А. М., Технологическое обеспечение надежности высокоточных деталей машин. М., „Машиностроение“, 1975.
9. СКОРЫНИН Ю. В., Модели эксплуатационной наследственности узлов трения машин. Известия АН БССР, сер. физ.-техн. наук, 1977, № 4.
10. БУШЕ Н. А., Об исследований в области оценки совместимости трущихся пар. В сб. „Проблемы трения и изнашивания“, № 1. Киев, „Техника“, 1970.
11. ДЕМКИН Н. Б., Фактическая площадь касания твердых поверхностей. М., Изд-во АН СССР, 1962.
12. Технологическая надежность станков. Под ред. А. С. Проникова. М., „Машиностроение“, 1971.

13. ВЕЛИЧКИН И. Н., Износостойкость и сроки службы деталей машин. „Вестник машиностроения“, 1963, № 1.
14. ДОНСКОЙ Д. И., Повышение качества ремонта автомобильных двигателей. М., Автотрансиздат, 1960.
15. СКОРЫНИН Ю. В., Ускоренные испытания деталей машин и оборудования на износстойкость. Мн., „Наука и техника“, 1972.
16. САДОВСКИЙ В. Д. Структурная наследственность в стали. М., „Металургия“, 1973.
17. СПРИШЕВСКИЙ А. И. Подшипники качения. М., „Машиностроение“, 1969.
18. Шейн А. С. и др., Термическая обработка стали 9Х18. „Технология подшипникостроения“, 1955, № 5.
19. ГРОЗИН Б. Д., Износ металлов. Киев, Гостехиздат Украины, 1951.
20. ЛЮБАРСКИЙ И. М., Упрочнение и разупрочнение при трении. В сб. „Проблемы трения и изнашивания“, № 1. Киев, „Техника“, 1971.
20. ЛЮБАРСКИЙ И. М., Об обратимости структурных превращений при трении. В сб. „Теория смазочного действия и новые материалы“. М., „Наука“, 1965.
22. ЛЮБАРСКИЙ И. М., ПАЛАТНИК Л. С., Металлофизика трения. М., „Металлургия“, 1976.
23. КОСТЕЦКИЙ Б. И., Трение, смазка и износ в машинах. Киев, „Техника“, 1970.
24. ЛЮБАРСКИЙ И. М., Динамика структурных и фазовых изменений при внешнем трении металлов. В сб. „Роль структуры поверхностных слоев в процессе трения твердых тел“. Мн., „Наука и техника“, 1969.
25. Поверхностная прочность материалов при трении. Под ред. Б. И. Костецкого. Киев, „Техника“, 1976.
26. Надежность и долговечность машин. Под ред. Б. И. Костецкого. Киев, „Техника“, 1975.
27. SUH N. P., »Wear«, v. 25, p. 111, 1973.
28. SUH N. P., JAHANMIR S., ABRAHAMSON E. P., TURNER A. P., ASME Trans., v. 96, p. 631, 1974.
29. JAHANMIR S., SUH N. P., ABRAHAMSON E. P., »Wear«, v. 32, p. 33, 1975.
30. NAKAJIMA K., KAWAMOTO I., »Wear«, v. 11, p. 21—33, 1968.
31. NAKAJIMA K., MIZUTANI I., »Wear«, v. 13, p. 283—292, 1969.
32. ODA Y., KIMURA M., NAKAJIMA K., »Wear«, v. 20, p. 159, 1972.
33. NAKAJIMA K., ISOGAI A., KITAGAWA F., »Wear«, v. 11, p. 223, 1968.
34. КРАГЕЛЬСКИЙ И. В. и др., О влиянии колебания нагрузки на износ. „Машиноведение“, 1968, № 1.
35. ПАВЛИК Б. Б., ГРИШКО В. А., Процессы изнашивания цементированных зубчатых колес при смазке различными нефтяными маслами. „Машиноведение“, 1969, № 1.
36. САВЧЕНКО Н. З., Теоретические и экспериментальные основы процесса приработки сопряженных деталей двигателей внутреннего горения. Автодипломный докторский дис. Киев, 1971.
37. АРХИПОВ В. С., КОРНЕЕВ В. Н., Определение износа золотниковых пар распределителей методом поверхностной активации. „Изотопы в СССР“, 1971, № 21.
38. КОСТЕЦКИЙ Б. И., БЕРШАДСКИЙ Л. И., КАРАУЛОВ А. К., Металлофизические проблемы надежности и долговечности машин. „Металлофизика“, 1973, вып. 48.
39. ХОНИКОМБ Р., Пластическая деформация металлов. М., „Мир“, 1972.
40. СЕВЕРДЕНКО В. П., ГУРСКИЙ Л. И., Структура в объеме и на поверхности прокатанных материалов. Мн., „Наука и техника“, 1972.
41. ГАРБАР И. И., СКОРЫНИН Ю. В., Особенности структурного состояния деформированного трением слоя низкоуглеродистой стали. „Машиноведение“, 1974, № 6.
42. ГАРБАР И. И., СКОРЫНИН Ю. В., Исследование структуры поверхностного слоя при трении. „Машиноведение“, 1975, № 5.
43. КРАГЕЛЬСКИЙ И. В., Трение и износ. М., „Машиностроение“, 1968.
44. КРАГЕЛЬСКИЙ И. В., ДОБЫЧИН М. Н., КОМБАЛОВ В. С., Основы расчетов на трение и износ. М., „Машиностроение“, 1977.
45. АРОНОВ В. А., БЕРШАДСКИЙ Л. И., КОСТЕЦКИЙ Б. И., Экспериментальное исследование физической модели нормального изнашивания металлов. В сб. „Проблемы трения и изнашивания“, № 2. Киев, „Техника“, 1972.
46. Расчет износостойкости трущихся деталей машин. Методические указания. М., ВНИИМаш, 1972.
47. ПЕТЧ Н. Д., Переход из вязкого состояния в хрупкое в а-железе. В сб. „Атомный механизм разрушения“. М., Металлургиздат, 1963.
48. ВИТОРСКИЙ Я. М. и др., Влияние температуры деформации на структуру и механические свойства низколегированного молибдена. ФММ, 1971, 31, вып. 5.
49. ИВАНОВА В. С., ГОРДИЕНКО Л. К., Новые пути повышения прочности металлов. М., „Наука“, 1964.
50. ИВАЩЕНКО Р. К. и др., Роль ячеистой структуры в формировании механических свойств хрома. ФММ, 1969, 28, вып. 6.
51. КОСТЕЦКИЙ Б. И., БЕРШАДСКИЙ Л. И., Нормальное трение и явления повреждаемости в машинах. „Машиноведение“, 1970, № 1.
52. ГАРБАР И. И., СКОРЫНИН Ю. В., Методика электронномикроскопических исследований структуры металла после поверхностной деформации. „Заводская лаборатория“, 1975, № 3.
53. ГАРБАР И. И., СЕВЕРДЕНКО В. П., СКОРЫНИН Ю. В., Образование продуктов изнашивания при трении скольжения. ДАН СССР, Техническая физика, 1975, 225, № 3.
54. ГАРБАР И. И., СЕВЕРДЕНКО В. П., СКОРЫНИН Ю. В., Кинетика структурных изменений в металле при трении. В сб. „Развитие методов исследования трибологических явлений в машинах“. Мн., ИНДМАШ, 1976.
55. ЛЫСАК Л. И., Определение истинной ширины рентгеновских интерференционных линий с применением стандартного образца. В сб. „Вопросы физики металлов и металловедения“. Киев, 1955.
56. МИРКИН Л. И., Справочник по рентгеноструктурному анализу поликристаллов. М., „Мир“, 1968.
57. ЛИПСОН Г., СТИПЛ Г., Интерпретация порошковых рентгенограмм. М., „Мир“, 1972.
58. ЛАВРОВСКИЙ С. Д., НАСЛЕДЫШЕВ Ю. К., СКОРЫНИН Ю. В., Исследование износа зубчатых колес с установкой ведомой шестерни на бочкообразных шлицах. В сб. „Повышение долговечности узлов трения машин“. Могилев, 1977.
59. ПРОНИКОВ А. С., Саморегулирование в станках-автоматах. М., „Московский рабочий“, 1965.
60. РАСТРИГИН Л. А., Автоматическое устранение вибраций. „Вестник машиностроения“, 1962, № 5.
61. ГОРДИЕНКО Л. К., Субструктурное упрочнение металлов и сплавов. М., „Наука“, 1973.
62. РЫЖОВ Э. В. и др., Технологическая наследственность при механической обработке направляющих станин. В сб. „Технология машиностроения“, Брянск, 1975.
63. СЧАСТИВЕНКО Ф. Е., СКОРЫНИН Ю. В. и др., Методы оценки долговечности трущихся сопряжений металлорежущих станков. Мн., „Наука и техника“, 1976.
64. ПРОНИКОВ А. С., Износ и долговечность станков. М., Машгиз, 1957.
65. ХРУЩОВ М. М., БЕРКОВИЧ Е. С., Определение износа деталей машин методом искусственных баз. М., Изд-во АН СССР, 1959.
66. БИЛИК Ш. М., Макрография деталей машин. М., „Машиностроение“, 1973.
67. МЕТАЛИН А. А., Качество поверхности и эксплуатационные свойства деталей машин. М. — Л., Машгиз, 1965.
68. ФИЛИМОНОВ Л. И. и др., Влияние затупления шлифовального круга на качество поверхности. „Станки и инструмент“, 1969, № 6.
69. АВЕРЧЕНКОВ В. И., Изменение шероховатости и микротвердости поверхности деталей в процессе приработки. В сб. „Технология машиностроения“. М., 1975.

70. ДЬЯЧЕНКО П. Е., ВАЙНШТЕЙН В. Э., ГРОЗИНСКАЯ З. П., Методы контроля и стандартизация волнистости поверхности. М., Стандартгиз, 1962.
71. СКОРЫНИН Ю. В., ХАРИТОНОВ Е. М., Расчет на износ деталей машин с дискретными поверхностями трения. В сб. „Моделирование трения и износа и расчетно-аналитические методы оценки износа поверхностей трения“. Москва—Ростов-на-Дону, 1971.
72. СОКОЛОВСКИЙ А. П., Научные основы технологии машиностроения. М.—Л., Машгиз, 1955.
73. СКОПЦОВ Л. М., КУЗНЕЦОВ Б. С., Вибрация шариковых подшипников. В сб. „Труды семинара по вопросам прогрессивных методов шлифования и доводки деталей подшипников качения“. М., ВНИПП, 1964.
74. ГЕРАСИМОВА Н. Н., Влияние волнистости на работоспособность шариковых радиальных подшипников. Труды ВНИПП, № 2 (22). М., 1960.
75. ПОСТНИКОВ В. И., Радиоактивные изотопы в исследовании и автоматизации контроля износа. М., „Машиностроение“, 1967.
76. СОБОДЯННИКОВ С. С., Математическое моделирование систем трения и износа по их динамическим характеристикам. В сб. „Моделирование трения и износа и расчетно-аналитические методы оценки износа поверхностей трения“. Москва—Ростов-на-Дону, 1971.
77. ЮРЕВИЧ Е. И., Теория автоматического управления. Л., „Энергия“, 1975.
78. ХАЛФМАН Р. Л., Динамика. М., „Наука“, 1972.
79. КОРДОНСКИЙ Х. Б. и др., Вероятностный анализ процесса изнашивания. М., „Наука“, 1968.
80. ЕЛИЗАВЕТИН М. А., САТЕЛЬ Э. А., Технологические способы повышения долговечности машин. М., „Машиностроение“, 1969.
81. РОЗЕНБЕРГ Ю. А., Влияние смазочных масел на надежность и долговечность машин. М., „Машиностроение“, 1970.
82. ХРУЩОВ М. М., Динамика изнашивания деталей машин. „Вестник машиностроения“, 1966, № 8.
83. ЛАПИДУС А. С., Данные по износу и методы повышения износустойчивости направляющих металлических станков. М., ЭНИМС, 1950.
84. ПАВЛИК Б. Б., ГРИШКО В. А., Процессы изнашивания цементированных зубчатых колес при смазке различными нефтяными маслами. „Машиноведение“, 1969, № 1.
85. БАРОНС П. П., ГРИШКО В. А., Влияние кратковременных перегрузок на приработку и температуру зубьев прямозубых передач. „Машиноведение“, 1970, № 1.
86. НИСНЕВИЧ А. И., Применение радиоактивных изотопов для изучения долговечности деталей машин. М., Госатомиздат, 1962.
87. ВЕЛИЧКИН И. Н., НИСНЕВИЧ А. И., ЗУБИЕТОВА М. П., Ускоренные испытания дизельных двигателей на износстойкость. М., „Машиностроение“, 1964.
88. Методика обработки результатов испытаний на износ единичных образцов с использованием сведений о физике процессов разрушения. Горький, ВНИИМаш, 1974.
89. GERVE A. I., Einsatzmöglichkeiten von Radionukliden zur Untersuchung konstruktiver und schmierstoffabhängiger Einflüsse auf den Verschleiß von Maschinenteilen. VDI—Berichte, № 196, 1973.
90. КАТЗЕНМЕИР Г., Das Verschleißverhalten und die Tragfähigkeit von Gleitlagern im Übergangsbereich von der Vollschmerung zu partiellem Tragen. KFK—Berichte, № 1569, 1972.
91. ДЬЯЧКОВ П. Е., Применение радиоактивных изотопов в технике. М., Машгиз, 1958.
92. ЦВЕТКОВ В. Д., Система автоматизации проектирования технологических процессов. М., „Машиностроение“, 1972.
93. ЧАРНКО Д. В., Основы выбора технологического процесса механической обработки. М., Машгиз, 1963.
94. ШАКАЛИС В. В., Моделирование технологических процессов, М., „Машиностроение“, 1973.
95. КУПЦОВ Б. П., Исследование процесса плоского шлифования периферии круга с большими поперечными подачами. Автореферат канд. дис. Мн., 1968.
96. СКОРЫНИН Ю. В. и др., Применение метода поверхностной активации при испытании деталей машин на износстойкость. „Вестник машиностроения“, 1973, № 8.
97. КАРПЕНКО Г. В. и др., Упрочение стали механической обработкой. Киев, „Наукова думка“, 1966.
98. АДЛЕР Ю. П., Введение в планирование эксперимента М., „Металургия“, 1969.
99. ХИГС Ч., Основные принципы планирования эксперимента. М., „Мир“, 1967.
100. ТЕНЕНБАУМ М. М., Износстойкость конструкционных материалов и деталей машин. М., „Машиностроение“, 1966.
101. Адаптивное управление станками. Под ред. Б. С. Балакшина. М., „Машиностроение“, 1973.
102. МИХЕЛЬКЕВИЧ В. Н., Автоматическое управление шлифованием. М., „Машиностроение“, 1975.

M. KOKIĆ



ISTRAŽIVANJA

Problemi primene sredstava za hlađenje i podmazivanje u obradi provlačenjem

UVOD

Primena sredstava za hlađenje i podmazivanje (SHP) je prisutna u svim proizvodnim operacijama obrade metala rezanjem sa ciljem da se obezbedi veća postojanost alata, što dovodi do manjih troškova alata. Ovo se ostvaruje tako što SHP vrši odvodenje toplove koja se razvija u zoni rezanja a podmazivanjem smanjuje trenje između grudne površine alata i strugotine i ledne površine alata i predmeta obrade. Kod raznih vrsta proizvodnih operacija, različiti su i uslovi pod kojima se iste izvode, pa su otuda u primeni razne vrste SHP.

Za izbor optimalnog SHP u proizvodnim operacijama obrade rezanjem, neophodno je prethodno poznavati uslove pod kojima se obrada izvodi sa jedne strane kao i tribološke karakteristike SHP sa druge strane. U sadašnjim proizvodnim uslovima, uglavnom se nedovoljno poklanja pažnja proučavanju oba ova faktora na jednom mestu ili zajednički, već se razvoj SHP odvija kod proizvođača sa malo povratnih informacija iz proizvodnih uslova u kojima se primenjuju.

Obrada provlačenjem, iako ima veoma jednostavnu kinematiku, gde rezni alat (provlakač) izvodi glavno pravolinijsko kretanje dok predmet obrade miruje, spada u red najtežih operacija obrade rezanjem sa aspekta primene SHP. Razlog leži u tome što operacije provlačenja u sadašnjim proizvodnim uslovima karakterišu uslovi rezanja gde je zbog veoma niskih brzina rezanja (provlačenja) mala razvijena količina toplove u zoni rezanja uz istovremeno visoke temperature strugotine, čija je masa mala zbog male debljine strugotine (dubine rezanja ispod 0,15 mm — obično 0,02 do 0,05 mm), dok su specifični pritisci na kontaktним površinama između reznog alata i predmeta obrade veoma visoki. Ovako niske brzine rezanja pogoduju razvoju i formiranju naslage na reznoj ivici u toku rezanja jer su primjene brzine ispod 10 m/min. a najčešće 1 do 6 m/min. Pored ovoga, naročito pri obradi unutrašnjim provlačenjem, za vreme kada je rezni element (zub) u zahvatu, sva količina strugotine koja se formira rezanjem ostaje u međuzublju a za to vreme mlaz SHP ne dopire u zonu rezanja pa se strugotina odstranjuje pomoću SHP tek pri izlasku reznih elemenata iz zahvata.

Širine rezanja pri obradi provlačenjem su velike po svakom reznom elementu pa se vrši relativno smanjenje izvođenjem više lomača strugotine po obimu odnosno po širini reznog elementa.

Operacije provlačenja se često izvode kao završna obrada pa su zahtevi u pogledu kvaliteta obradene površine veoma strogi ($\frac{1}{16}$ do $\frac{1}{8}$) a tačnost dimenzija IT 6 do 9.

Dok se kod nekih vrsta operacija kao što su struganje, glodanje i sl. gde su primjenjeni rezni alati od tvrdog metala i keramike, od strane proizvođača alata preporučuje ravnopravno obrada sa ili bez SHP, dотle se obrada provlačenjem ne može zamisliti bez adekvatno izabranog

SHP, kako zbog uslova obrade tako i zbog reznog alata koji je zbog niskih brzina rezanja izrađen od visoko kvalitetnih brzoreznih čelika.

Pri obradi provlačenjem koriste se sledeće vrste SHP:

- čista ulja za rezanje
- emulziona ulja i
- sintetička sredstva.

Najbolji rezultati se postižu primenom specijalnih reznih ulja i ovo sredstvo je najviše zastupljeno u obradi provlačenjem. S obzirom da su zahtevi koji se postavljaju pred SHP delimično protivrečni zbog istovremenih potreba da sredstvo i dobro hlađi (odvodi razvijenu toplostu) i dobro podmazuje (smanjuje trenje), ovaj problem se kod reznih ulja kao SHP može prevazići upotrebo ulja nižeg viskoziteta čime je obezbeđeno dobro svojstvo hlađenja, dok se svojstvo podmazivanja obezbeđuje dodatkom aditiva.

Zavisno od vrste, aditivi mogu da poboljšavaju karakteristike SHP fizičkim ili hemijskim delovanjem na metalne kontaktne površine alata i predmeta obrade.

Kod aditiva na bazi hlor, fosfora i sumpora dolazi do hemijskih procesa koji se javljaju isključivo pri rezanju u zoni kontaktnih površina pod dejstvom visokih temperatura i specifičnih pritisaka, pri čemu se stvara hemijsko jedinjenje u vidu visoko viskoznog podmazujućeg film (metalne soli) čija je temperatura topljenja znatno ispod temperature topljenja alatnog materijala. Pravilnim izborom i koncentracijom ovih aditiva, dobijaju se ulja različitih eksploracijskih osobina jer svaki aditiv ima svoju temperaturu na kojoj dolazi do hemijske reakcije sa metalnim površinama u zoni rezanja i to za hlor do 773 K, fosfor do 973 K i sumpor do 1273 K.

STRUKTURA VREDNOSTI OBRADE PROVLAČENJEM UZ PRIMENU ULJA ZA REZANJE KAO SHP

U OOURL-u »Mehanička obrada« iz Fabrike automobila ZCZ, koji se u velikom obimu bavi obradom metala rezanjem postoje značajni kapaciteti za obradu unutrašnjim i spoljnim provlačenjem sa iskustvom u ovoj specifičnoj vrsti obrade od preko 20 godina. U većem delu tog perioda kao i sada kao SHP se isključivo koriste specijalna rezna ulja za provlačenje koja uglavnom zadovoljavaju napred navedene zahteve kvaliteta. Serije automobilskih delova koje se sada rade, dostigle su veličine od preko 200.000 kom. godišnje na većem broju mašina za provlačenje, što je dovelo do visokog vremenskog stepena iskorišćenja. Imajući u vidu činjenicu da je instalirano 16 mašina za unutrašnje i 6 mašina za spoljni provlačenje čiji rezervoari u prosjeku primaju po 200 lit. reznog ulja kao SHP, praćenjem je utvrđeno da se mesečno na njima ukupno troši preko 35000

lit. rezognog ulja, odnosno preko 150 lit. dnevno što je oko 0,01 litar po jednom provućenom predmetu obrade u prosjeku. Ovako velika potrošnja rezognog ulja koje je inače veoma skupo i čija je nabavka otežana, zahteva da se pored čisto triboloških razmatranja pristupi i analizi ekonomskog aspekta primene ovoga ulja kao SHP, kroz analizu strukture vrednosti obrade odnosno njenih elemenata.

Za analizu su izabrana 4 radna mesta gde se vrši unutrašnje provlačenje u proizvodnim radnim uslovima. U tabeli T-1 dati su neki interesantni podaci vezani za uslove ispitivanja, za sva 4 izabrana radna mesta.

Izračunavanje elemenata iz strukture vrednosti obrade V_0 , vršeno je na osnovu metodologije razrađene od strane autora [1], pri čemu je kod računanja vrednosti obrade koji se odnose na SHP uzimana samo nabavna vrednost ulja bez troškova vezanih za skladištenje i distribuciju kao što je rađeno i za vrednost obrade koja se odnosi na alat.

Izračunate vrednosti elemenata strukture vrednosti obrade vezani za radnika (R), alat (A), mašinu (M) i SHP (S), prikazane su na sl. 1 za sva 4 izabrana radna mesta, gde su unete i vrednosti proizvodnje izračunate preko proizvoda komadnog vremena (tk) i srednje vrednosti norma časa po metodologiji koja se primjenjuje u ZCZ.

Slike 1 se jasno uočava da je na radnom mestu br. 3 stvarna vrednost obrade veća od vrednosti proizvodnje računate preko prosečne vrednosti norma časa što znači da je stvarna vrednost proizvodnje znatno viša, a to važi i za r. m. br. 1.

Ne treba posebno naglašavati da kada se želi vršiti optimizacija u proizvodnim uslovima, da je ista moguća samo računanjem stvarne vrednosti obrade i proizvodnje a rezultati dobijeni računanjem preko srednje vrednosti norma časa mogu često da navedu na pogrešne zaključke i odluke, što se jasno vidi sa sl. 1.

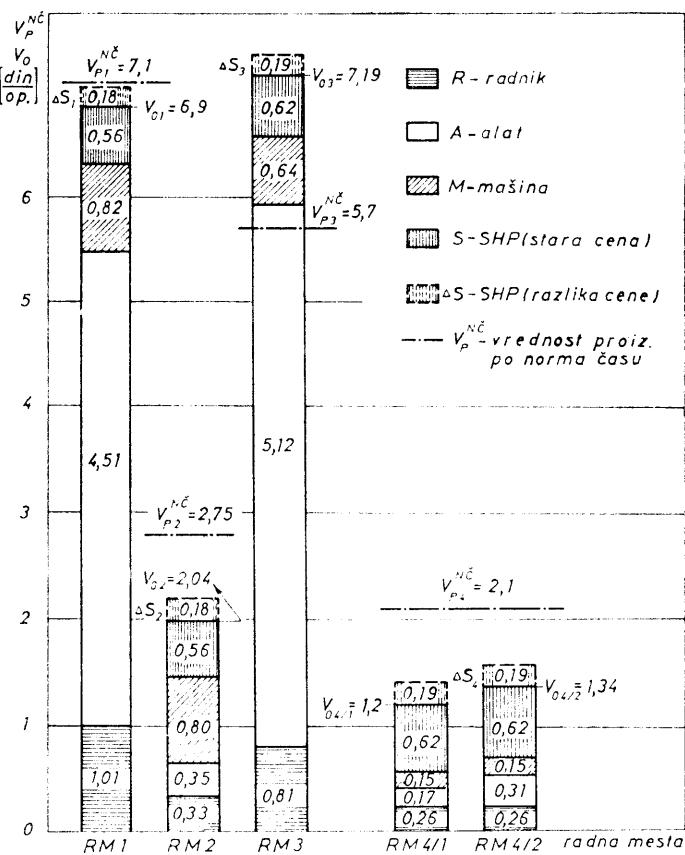
Kod većine operacija u obradi rezanjem, vrednost alata u strukturi vrednosti obrade ima znatan udio, što važi i kod većine operacija provlačenja naročito kada se vrši provlačenje profila sa velikim ukupnim dodatkom za obradu. U analiziranim slučajevima velika vrednost vezana za alate na r. m. br. 1 i 3 je posledica visoke nabavne cene alata koji se sastoji iz garniture od 3 i 2 alata, jer se obrađuju veliki dodaci za obradu (po prečniku 18,62 i 22,55 mm), pa su alati za provlačenje većih dimenzija.

Kod radnog mesta br. 2 i 4 gde se vrši obrada manjih dodataka za provlačenje i gde je cena alata manja uz zadovoljavajuću postojanost, vrednost obrade koja se odnosi na alat je kod radnog mesta br. 2 čak niža od vrednosti vezanih za mašinu i SHP a približna sa R, dok je kod r. m. br. 4 znatno manja od vrednosti za SHP.

Na radnom mestu broj 2 vrednost obrade vezana za SHP je preko 60% veća od vrednosti vezanih za alat po ceni ulja na početku 1980. g. od 56 din/lit, a za zahtevane cene sredinom 1980. g. od 73,61 din/lit, čak za 110% ili oko 2 puta.

Na r. m. br. 4, situacija je još više izražena, jer je vrednost obrade vezana za SHP veća oko 4 puta od vrednosti obrade vezane za mašinu a gotovo 4 puta veća nego A na r. m. br. 4/1 a za 4/2 veća oko 2 puta. Iz tih razloga proizilazi iznenadujuća činjenica da je na r. m. br. 4, vrednost obrade vezane za SHP približnog reda veličine kao zbir R, A i M za cene SHP sa početka 1980. g. dok su razlike za povećane cene još veće.

Na sl. 1 pored prikaza vrednosti elemenata vrednosti obrade R, A, M, S za cenu SHP sa početka 1980. g. posebno je dodata nova vrednost ΔS (din/oper.) zbog povećane cene SHP a istih triboloških karakteristika.



Sl. 1. — Struktura vrednosti obrade provlačenjem

Nameće se logičan zaključak da bi na radnom mestu br. 2 i 4 izborom jeftinijeg SHP za ostale nepromjenjene uslove, verovatno došlo do smanjenja postojanosti alata za provlačenje pa time i do izvesnog povećanja vrednosti obrade vezanih za alat, ali ne toliko za koliko bi opala vrednost obrade vezana za SHP. Konačna ocena o uvođenju druge vrste SHP donela bi se na osnovu položaja funkcije vrednosti obrade $V_0 = f(T)$ u zavisnosti od postojanosti alata (T), mada poređ uticaja na eventualno povećanje vrednosti obrade vezane za alat, može doći i do povećanja R i M ako se primenom novog SHP zahteva smanjenje brzine rezanja (V), što se ne očekuje u sadašnjim proizvodnim uslovima gde su primjenjene brzine već i sada veoma niske.

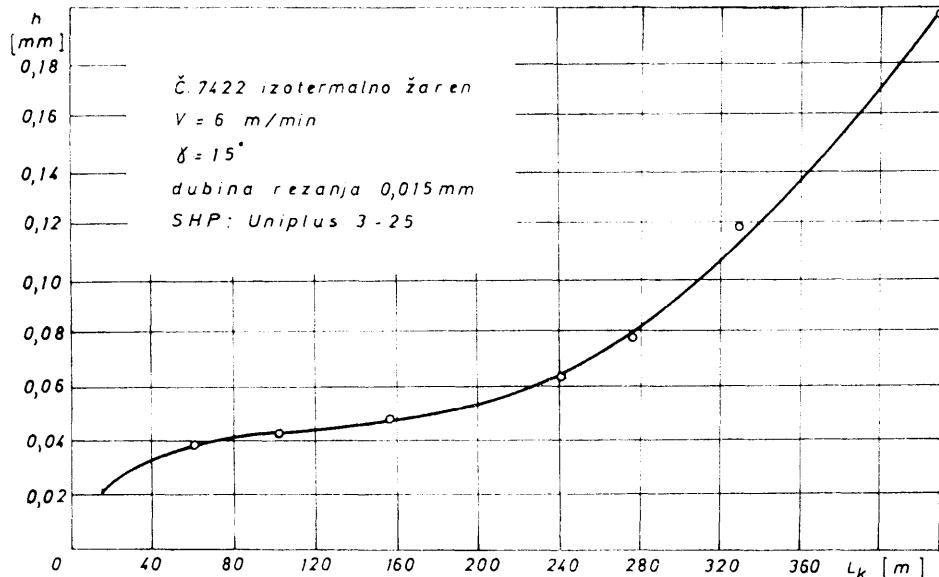
Iz tih razloga je neophodno iznaci i uporediti novu krivu habanja za druge vrste SHP, a za ostale nepromjenjene uslove ispitivanja do pojave kritičnog zatupljenja $h_k(\text{mm})$, sa krivom habanja za sada primjenjeno rezno ulje kao SHP. Mada je u sadašnjim proizvodnim uslovima prava retkost da se ima pouzdanija kriva habanja za neki alat, na r. m. br. 4/2 za zupčanike menjača 1.28.118 i 1.28.118 voz. Z 101 postoji već pouzdana reprezentativna kriva habanja celog provlačača dobijena u proizvodnim radnim uslovima koja je prikazana na slici br. 2 kao zavisnost širine pojasa habanja ledne površine h (mm) i postojanosti alata za provlačenje praćene preko ukupno provučene dužine između dva oštrenja L (m).

Način praćenja razvoja procesa habanja ledne površine reznih elemenata alata za provlačenje, detaljno je objašnjen u [4].

ANALIZA POTROŠNJE ULJA ZA REZANJE U PROIZVODNIM USLOVIMA

Kao što se iz već iznetog vidi, sredstva za hlađenje i podmazivanje značajno učestvuju u strukturi vrednosti obrade pri obradi provlačenjem, sa tendencijom daljeg povećanja svog udela u odnosu na R, A i M, pa poklanjanje više pažnje ovoj problematiki može znatno da doprinese smanjenju troškova i povećanju dohotka proizvodnih organizacija udruženog rada koje se ovom vrstom obrade bave.

Sl. 2. — Kriva habanja



Zato treba primeniti stroge mere štednje i racionalne potrošnje SHP, jer tu postoje značajne rezerve. Naime, uočeno je da su najveći gubici reznog ulja pri obradi provlačenjem zbog mehaničkih gubitaka usled:

□ Nedovoljnog cedenja ulja sa obrađenog predmeta obrade kada se otprema sa mašine za provlačenje u dalji ciklus obrade.

□ Odlaženja ulja sa strugotinom koja ima izrazito veliku površinu omotača zbog velike širine rezanja čije su vrednosti prikazane u tablici T-1, i nepovoljnog oblika iste jer se sva formirana strugotina pružajuće smesta u prostor međuzublja za vreme dok je rezni element u zahvalu. U sadašnjim proizvodnim uslovima se ne vrši cen-

trifugiranje i detaljnije cedenje strugotine pre izbacivanja iz mašine za provlačenje.

□ Raspršivanja ulja u toku obrade van radnog prostora mašine.

□ Gubljenje ulja curenjem iz mašine usled lošeg održavanja zaptivenosti hidraulične instalacije koja prenosi ulje od rezervoara do radnog prostora mašine.

Na gubitke reznog ulja vezane za isparavanje pri rezanju i sa površina na koje dospeva, otpada manji deo u potrošnji.

ZAKLJUČAK

Nesumnjivo je da predstoje a i sada su već u znatnoj meri prisutni veliki problemi oko dalje upotrebe specijalnih reznih ulja kao SHP pri obradi provlačenjem. Ovo otuda što nenormalan trend porasta cena ulja sa istovremeno nepoboljšanim tribološkim karakteristikama, dovodi do toga da vrednost obrade vezane za SHP značajno raste, čime se smanjuje dohodak Osnovne organizacije udruženog rada.

Pored visoke cene reznog ulja koje domaći proizvođači proizvode uglavnom od uvozних sirovina, imajući u vidu dugoročniju svetsku krizu vezanu za nestaćicu nafte i njene derivata kao i mere koje su predviđene da se u naредnom periodu sprovedu u cilju ekonomskog stabilizacije naše privrede, nabavka SHP na bazi ulja biće veoma otežana, pogotovo čistih reznih ulja.

Iz tih razloga treba na operacijama provlačenja što važi i za druge operacije koje koriste ulje kao SHP, kao što je ozubljenje, obrada šipkastog materijala na automatsima, obrada valjanjem i slično, razmotriti zamenu čistih reznih ulja drugim vrstama SHP uz prethodnu analizu sa tribološkog i ekonomskog aspekta i sada već i sa aspekta mogućnosti sigurne nabavke. Za ovakve analize neophodno je registrovati podatke o postojanosti reznih alata sa sada primjenjenim SHP i njihove krive habanja.

Takođe u proizvodnim radnim uslovima treba neprekidno primenjivati mere štednje i racionalne potrošnje SHP, čime bi se ostvarile značajne uštede i poboljšalo poslovanje povećanjem dohotka a učinio bi se i doprinos poboljšanju deviznog bilansa naše zemlje.

Poziv na saradnju

U dosadašnjem izlaženju časopis »TRIBOLOGIJA U INDUSTRIJI« okupio je znatan broj preplatnika, uglavnom inženjera i naučno-istraživačkih radnika. Međutim, časopis je tako koncipiran po sadržaju da se može uspešno koristiti u osnovnim organizacijama udruženog rada metaloprerađivačke industrije. Od posebnog interesa za osnovne organizacije udruženog rada može da bude novouvedena rubrika pod nazivom »Za neposrednu praksu« u kojoj se obrađuju pitanja od najbližeg interesa neposredne proizvodnje. Očekujemo da nam se iz OUR-a javi zainteresovani s predlozima koje teme i pitanja da budu obrađeni u ovoj rubrici i uopšte u časopisu.

Časopis ima za cilj da naučna saznanja saopšti tako da ona budu korišćena u smislu optimizacije proizvodnje i uvećanja dohotka u metaloprerađivačkoj industriji.

Očekujemo još bližu saradnju i sugestije iz neposredne proizvodnje.

REDAKCIJA

TABELA 1.

Oznaka radnog vremena	1	2	3	4	
				4/1	4/2
Naziv i oznaka predmeta obrade	zupčanik diferenč. voz. 750 1.45.505	zupčanik diferenč. voz. 1300 1.45.505	zupčanik diferencij. voz. Z 101 1.41.505	zupčanici IV st. pren. III st. pren. I st. pren. 1.28.116/7	voz. Z 101 II st. pren. I st. pren. 1.28.118/9
Materijal pred. obr.	šipka Č.7422.52	otkovak Č.7422.1	otkovak Č.5420	otkovci Č.7422	
Oblik provučenog otvora	cil. otvor sa 2 pravoug. žljeba pod 180°	cil. otvor sa evolventnim ožlj. ASA 24/48 z=22, m=1.0583	cil. otvor sa 3 lučna žljeba pod 120°	cilindrični otvori bez žljebova	
Dodatak za obradu (mm)	18,62	2,8	22,55	1,4	1,32
Dužina provlač. (mm)	39,7	24	47	28	
Brzina provlač. V (min)	2	3	4	3	
Dub. rezanja - deblj. strugotine (mm)	0,06	0,03	0,055	0,015	
Širina rezanja između 2 lomača (mm)	8	5,5	5,5	6	
Površina omotača strug. (mm²)	640	265	520	337	
Zapremina strug. (mm³)	19	4	14,2	2,5	
Vrsta SHP, karakteristike i proizvođač	Specijalno aktivno rezno ulje za provlačenje visk. (18—21) $\times 10^{-6}$ (m²/s) na 323 K, gustine 0,95 do 1,007 (g/cm³) na 293 K, oznake UNIPLUS 3—25 (nova ozn. HIDROLUBE HPM), Modriča				
Potrošnja ulja (lit/k.)	0,010	0,010	0,011	0,011	
t (min)	1,42	0,55	1,14	0,42	

LITERATURA

- IVKOVIĆ B., Tribologija rezanja — sredstva za hlađenje i podmazivanje, Građevinska knjiga, Beograd 1979.
- IVKOVIĆ B., Obrada metala rezanjem, Građevinska knjiga, Beograd, 1979. god.
- KÖNIG W., Räumen mit Rundräumewerkzeugen, »Karl Klink«, Niefern über Pforzheim, 1973.
- MILOŠEVIĆ M., Ispitivanje uticaja pojedinih faktora na razvoj procesa habanja alata za provlačenje i određivanje optimalnih uslova obrade pri provlačenju, Tribologija u industriji 4, 1979. god., Mašinski fakultet, Kragujevac.

MILJKO KOKIĆ, dipl. inž.
direktor Sektora obrade odlivaka
OOUR-a »Mehanička obrada« ZCZ u Kragujevcu



Roden 1945. godine. Diplomirao 1970. god. na Mašinskom fakultetu u Kragujevcu. Po diplomiranju radi u OOUR-u »Mehanička obrada« ZCZ na tehnološkim poslovima a poslednjih 5 godina je rukovodilac u proizvodnji obrade odlivaka.