

# tribologija u industriji

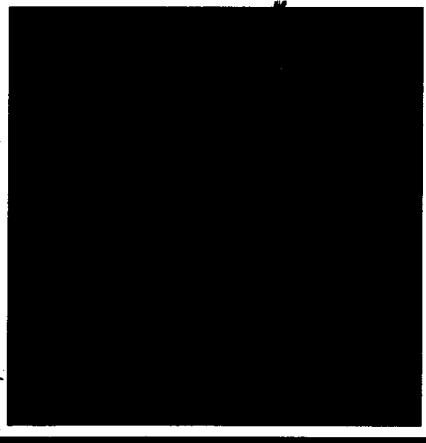
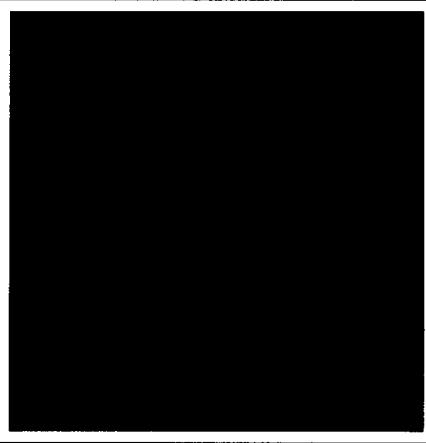
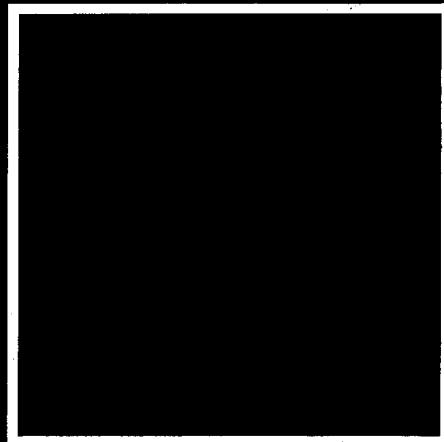
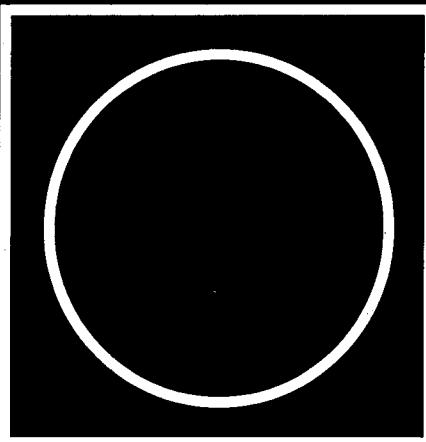
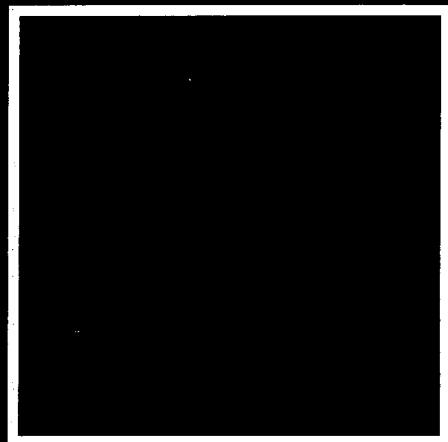
tribology in industry ◇ трибология в промышленности

YU ISSN 0351-1642

GODINA XVII

JUNI 1995.

2



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

# tribologija u industriji

## tribology in industry ◊ трибология в промышленности

### sadržaj ◊ contents ◊ содержание

#### UVODNIK INTRODUCTION ВВЕДЕНИЕ

M. BABIĆ: Uštede kroz tribologiju ◊  
 Savings trough Tribology ◊  
 Экономия через трибологию . . . . . 35

#### ISTRAŽIVANJA RESEARCH ИССЛЕДОВАНИЯ

S. PLONKA, W. JAKUBIEC: Einfluß der Behandlungsmethoden auf die geometrische Oberflächenstruktur und den kinetischen Garmreibungskoeffizienten ◊ Uticaj obradnih metoda na geometrijsku strukturu površine i kinetičke koeficijente trenja konca ◊ Influence of Machining Methods on Geometrical Structure of Surface and Kinetic Friction Coefficients of The Thread ◊ Влияние методов обработки на геометрическую структуру поверхности и кинетические коэффициенты трения нитки . . . . . 37

K. S. TONEV: An Experimental Study of Wear of Stainless Steels for Valve Sealing Materials ◊ Eksperimentalno proučavanje habanja nerđajućih čelika za zaptivne materijale ventila ◊ Экспериментальное изучение изнашивания уплотнительных клапанов из нержавеющих сталей . . . . . 46

P. IVANOVIĆ, V. KALANOVIĆ, D. TRIFUNOVIĆ, P. RAŠIĆ: Prilog istraživanju uticaja ulaznih promjenjivih obradnog sistema na funkciju stanja hrapavosti obradene površine kao važnog elementa za upravljanje tribološkim procesom ◊ Contribution to Investigation of Influence of Machining System Input Variables on Machined Surface Roughness State Function as an Important Element for Tribological Process Control ◊ К исследованию влияния входных переменных обрабатывающей системы на шероховатость обработанной поверхности как важного фактора управления трибологическими процессами . . . . . 54

#### NOVOSTI NEWS НОВОСТИ

Broj tribologa i njihov raspored po industrijskim granama u Japanu . . . . . 60

#### KNJIGE I ČASOPISI BOOKS AND JOURNALS КНИГИ И ЖУРНАЛЫ

. . . . . 62

#### NAUČNI SKUPOVI SCIENTIFIC MEETINGS НАУЧНЫЕ СОБРАНИЯ

. . . . . 64

# **Uštede kroz tribologiju**

Iako kao termin i koncept tribologija datira iz 1966. god., zbog izrazite interdisciplinarnosti njen realni značaj u proizvodnji i eksploataciji dobara teško se definiše. U takvim uslovima lako se usvajaju dva potpuno suprotna, ali istovremeno i pogrešna pristupa: potcenjivanja i zanemarivanja, ili pak precenjivanja značaja mogućih ušteda kroz podizanje tribološkog nivoa tehničkih sistema.

Objektivno valorizovanje i rangiranje značaja tribološkog koncepta podrazumeva istraživačku aktivnost u dva osnovna koraka: kvantifikaciju direktnih i indirektnih gubitaka tribološkog porekla (gubitaka uzrokovanih pojavama trenja i habanja) i procenu mogućih ušteda u kritičnim oblastima sa aspekta triboloških gubitaka. Ovakva istraživanja su veoma kompleksna, i po pravilu imaju dugoročni karakter.

Realne tehničke sisteme odlikuje stepen korisnosti (odnos tehnički iskorisćene i ukupno dovedene energije) manji, a često znatno manji, od 1. U strukturi ukupno izgubljene energije po različitim osnovama značajan deo pripada energiji utrošenoj na savladavanje spoljašnjeg i unutrašnjeg trenja. Tako na primer, veoma niski koeficijenti korisnog dejstva postrojenja u tekstilnoj industriji uglavnom su uslovljeni gubicima usled trenja. Prema objektivnim procenama na bazi istraživanja u ovoj industrijskoj grani energija utrošena na trenje predstavlja oko 80% ukupno utrošene energije.

U Džostovom izveštaju iz 1966. god. tvrdi se da se od ukupne godišnje potrošnje energije u iznosu od 40000 miliona kWh jedna trećina rasipa u procesima trenja. Takođe, u USA su godišnji direktni gubici energije na trenje za 1978. god. procenjeni na  $4.22 \times 10^6$  TJ, što je ekvivalentno godišnjim potrebama Njujorka za energijom, odnosno, ekvivalentno vrednosti od 20 milijardi dolara.

Direktni gubici koji nastaju trenjem, s obzirom da se po pravilu lakše identificuju, ponekad se poistovećuju sa ukupnim tribološkim gubicima. Međutim, njihov iznos (ekonomski iskanzan) znatno zaostaje za gubicima direktnog i indirektnog karaktera, koji nastaju usled nedozvoljenog habanja elemenata tribomehaničkih sistema. Naime, razvoj procesa habanja izaziva promene u strukturi tribomehaničkih sistema, pogoršava kvalitet njihovog funkcionisanja (što može biti praćeno povećanom potrošnjom energije na trenje) i dovodi do otkaza tehničkog sistema. Tribološki uzrokovi otkazi zahtevaju odgovarajuće akcije održavanja (korektivnog ili preventivnog karaktera) kojima se eliminisu nastale posledice. Na taj način nastaju direktni troškovi vezani za zamenu pohabanih elemenata i proizvodnju rezervnih delova.

Tekuće održavanje i remont po svojim troškovima prevazilaze nekoliko puta osnovnu cenu koštanja tehničkih sistema. Tako, na primer, taj odnos iznosi 6 kod automobila, 5 kod aviona i 8 kod mašina alatki. Pro-

računi pokazuju da se oko 2.6% utrošene energije u USA odnosi na opsluživanje, remont i proizvodnju rezervnih delova automobila. Kao primer velikog "tribološkog ponora" može poslužiti metalurgija kod koje tribološki gubici izazvani habanjem učestvuju sa 40 - 50 % u troškovima održavanja. Gubici prouzrokovani tribološkim razlozima, uglavnom habanjem, naročito su ozbiljni u tzv. teškom sektoru ove industrijske grane, tj. u pripremi rude, proizvodnji sirovog gvožđa i koksa, livenju i primarnom valjanju.

Poseban značaj, međutim, imaju i indirektni gubici, koji se često zanemaruju, a koji su posledica zastoja u eksploataciji tehničkih sistema.

U mnogim zemljama su ulagana i danas se ulažu znatna sredstva u istraživanja koja imaju za cilj da identificuju oblasti najvećih "triboloških ponora" i ekonomski iskažu gubitke, kao i moguće uštede. Pionirsku misiju pri tome svakako ima Džostov izveštaj iz 1966. god. Kasnije su sledila znatno obimnija oficijelna istraživanja u Nemačkoj, USA, Kanadi, Kini i nekim drugim zemljama.

U istraživanju koja su po prvi put sistematski i sveobuhvatno sprovedena sa ciljem da se kvantificiraju potencijalne uštede pomoću tribologije, kao i troškovi naučno-istraživačkog rada da bi se do tih ušteda došlo 1976. god u USA identifikovana su tri glavna sektora: transport, proizvodnja električne energije i industrija, a u

okviru njih posebno motorna vozila, termoelektrane i metalna industrija. Rezultati ovakvih istraživanja ukazuju da mogućnosti ušteda kroz tribologiju imaju nezaobilazan značaj na nivou nacionalnih ekonomija. Tako se u Džostovom saopštenju godišnje uštede u V. Britaniji procenjuju na nivou 515 miliona funti, a nakon provedra osamdesetih godina na nivou 700 miliona funti, god. Kasnija istraživanja u USA, zavisno od metodologije proračuna i cene energije, moguće uštede procenjuje na nivo od 20 do preko 40 milijardi dolara. Kao primer može poslužiti podatak novijeg datuma da se u USA oko 26% ukupne potrošnje energije odnosi na saobraćaj (u vrednosti od 98 milijardi dolara), pri čemu se od uvođenja triboloških unapređenja očekuje ušteda od 18.6 % energije koju troše drumska vozila (14.3 milijardi dolara godišnje).

U strukturi ušteda kroz tribologiju mogu se izdvojiti uštede bez istraživačko-razvojnog rada i uštede koje

zahevaju odgovarajući istraživačko-razvojni rad, koji može biti srednjoročnog i dugoročnog karaktera.

Prva grupa ušteda (kratkoročne) mogu se postići korišćenjem postojećih triboloških znanja, kroz podizanje motivacije, nivoa obrazovanosti, obukom i informisanjem. Ekonomski efekti ovakvih ušteda mogu se очekivati uglavnom u periodu od 3 do 5 godina.

Druga grupa ušteda zahteva istraživačko-razvojne akcije praćene obrazovanjem, obukom i informisanjem tokom perioda do 5 godina. Njihovi efekti očekuju se u periodu od 5 do 8 godina.

Treća grupa ušteda podrazumeva dugogodišnji sistematski istraživačko-razvojni rad, pri čemu ekonomski efekti nemaju izvesnu perspektivu.

Na bazi svetskih iskustava od skoro trideset godina u ovoj oblasti može se očekivati da poklanjanje odgovarajuće pažnje tribologiji, specijalno u oblasti edukacije, istraživanja i pri-

mene mogu rezultirati uštedama do 2% bruto nacionalnog dohotka. Do 20% ovih efeketa postižu se bez značajnijih investicionih ulaganja.

Potrebno je imati u vidu da u poređenju sa industrijskim razvijenim zemljama nas karakteriše daleko veća potrošnja energije po jedinici proizvoda, niži nivo primjenjenosti postojećih triboloških znanja, što daje šansu za ostvarivanjem značajnih ušteda bez posebnih ulaganja u istraživanje i razvoj, već samo u odgovarajući vid prenosa znanja na stručnjake u različitim privrednim oblastima.

Poslednji je trenutak da se i u našoj zemlji objavi rat trenju i habanju. U tom smislu pogodan je trenutak da Ministarstvo za nauku i tehnologiju Republike Srbije saglasno akcijama za racionalnim gazdovanjem energije obezbedi sredstva za finansiranje petogodišnjeg programa koji bi imao zadatak "uštede kroz tribologiju".

## Savings through Tribology

*Direct and indirect losses of tribological origin require as an imperative the necessity of organized systematic action in order to realize potential savings, whose effects are precious at the level of national economies. The major part of these savings originates from decreasing the technical systems maintenance costs, substitution of the worn elements, and stopping of work due to tribological consequences.*

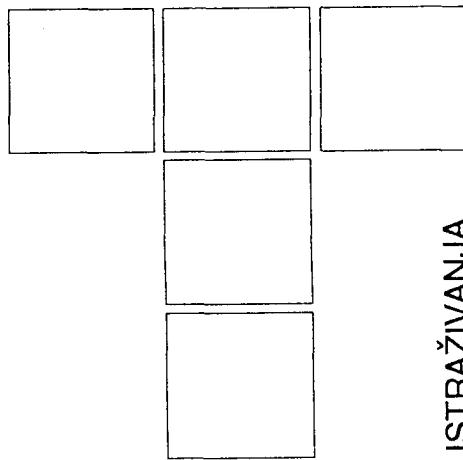
*It is necessary to bear in mind that, in comparison with industrially developed countries, Yugoslavia is characterized by far larger energy spending per product unit, lower level of applicability of existing tribological knowledge, what creates a chance for realization of significant savings without any further investments into research and development, but only into the corresponding way of knowledge transfer to experts in different economy areas.*

## Экономия через трибологию

*Прямые и косвенные потери обусловленные трибологическими процессами требующий неотложающей организации систематической работы с целью возможной экономии, имеющей огромное значение для народного хозяйства страны. Наибольшая экономия осуществляется через понижение расходов обслуживания станков, меньшие выдачи на замену изношенных деталей и понижение числа отказов оборудования, вызванных процессами трения и изнашивания.*

*Следует подчеркнуть, что промышленное производство Югославии характеризуется гораздо большим расходом энергии по единице изделия, чем в экономически развитых странах. Для ощечественной промышленности характерно и меньшее использование и внедрение имеющихся трибологических знаний. Они дают возможность для более экономичного производства без дополнительных вложений в исследования и развитие. Необходимо только обесечить передачу существующих знаний специалистам, работающим в различных отраслях промышленности.*

S. PLONKA, W. JAKUBIEC



ISTRAŽIVANJA

# Einfluß der Behandlungsmethoden auf die geometrische Oberflächenstruktur und den kinetischen Garnreibungskoeffizienten

## 1. EINFÜHRUNG

Oberflächen von Fadenleitororganen für ballon- und spindelloses Spinnen, wie Fadenführer, Spinnkrone, Spindelhals und Zentrifuge solten mindestens drei Voraussetzungen erfüllen:

- einen kleinen Reibungskoeffizient des Garnes im Verhältnis zu deren Oberflächen haben, welcher hauptsächlich von der Behandlungsart der Oberflächenstruktur abhängt,
- sie solten aus solchen Materialien hergestellt werden, bzw. so einer Oberflächenbehandlung unterzogen, die das Entstehen einer elektrostatischen Aufladung im Garn ausschließt, oder sie wenigstens niedrig hält,
- sie müssen genügend verschleiß - und oxydationsbeständig sein, dabei aber auch Stößen seitens der Spule widerstehen [7, 14, 15].

In der Literatur findet man eine Menge Information über Ansprüche, die an die Fadenleitororgane zu stellen sind. Dworak [3], Sturhahn und Ehrler [18, 19] geben Hinweise zur Wahl von Herstellungsmaterial für Fadenführer und erläutern den Einfluß, der durch den Wert  $R_a$  gekennzeichneten Oberflächenrauheit bei Fadenführern aus  $TiO_2$  und  $Al_2O_3$  auf das Reibungsverhältnis  $S_{21} = S_2/S_1$  ( $S_1$  - Garnspannung beim Eingang in den Fadenführer,  $S_2$  - Garnspannung beim Ausgang) bei texturierten Poliamid- und Poliestergarnen. Hingegen stell-

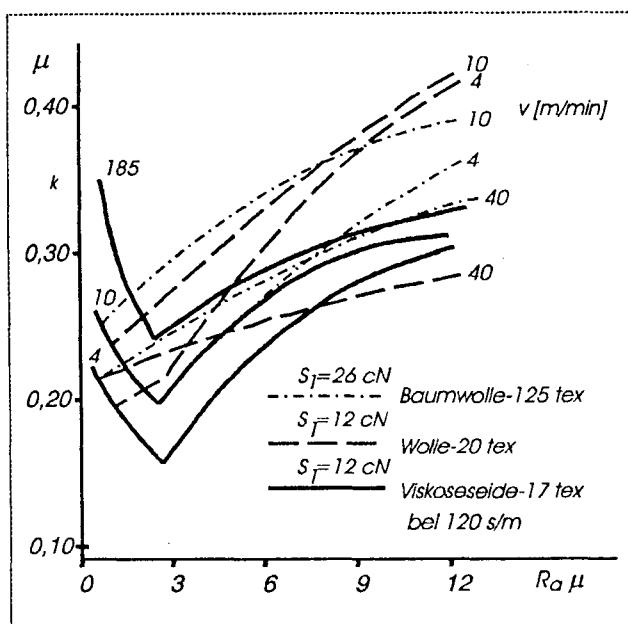


Abb. 1. Abhängigkeit zwischen dem Reibungskoeffizienten  $\mu_k$  und den Oberflächenrauheitswerten eines Fadenführers aus Stahl vom Durchmesser  $d=100$  mm (Umschlingungswinkel während der Messung -  $180^\circ$ ) [20]

Zavisnost koeficijenta trenja  $\mu_k$  od hravosti površine vodice konca od čelika prečnika  $d=100$  mm (obuhvatni ugao u toku merenja -  $180^\circ$ ) [20]

Dependence of the friction coefficient  $\mu_k$  on the values of the surface roughness of the steel thread guide of diameter  $d=100$  mm (subtended angle during measurement  $180^\circ$ ), [20]

Зависимость коэффициента трения  $\mu_k$  от шероховатости поверхности направляющей нитки, сделанной из стали диаметра  $d=100$  mm (угол охвата при измерении -  $180^\circ$ ) [20]

Dr inž. Stanislaw Plonka Technische Universität Lodž,  
Filiale in Bielsko-Biala  
Dr inž. Wladyslaw Jakubiec Technische Universität Lodž,  
Filiale in Bielsko-Biala

ten Wagner und Schuler [20] Abhängigkeiten zwischen dem kinetischen Reibungskoeffizienten für Garn und dem  $R_a$ -Wert für Fadenführer aus Stahl bei Garnen aus Stapelwolle, Baumwolle und Viskoseseide vor (Abb. 1). Aus diesen Abhängigkeiten geht hervor, daß bei steigendem  $R_a$ -Wert für Stapelwolle und Baumwolle auch der Reibungskoeffizient  $\mu_k$  steigt. Bei Viskoseseide dagegen existieren Bereiche, innerhalb deren der  $R_a$ -Wert auftritt und sein Anstieg ein Abfallen des Wertes  $R_a$  verursacht. Es gibt aber auch hier Bereiche, wo der Anstieg von  $R_a$  den Anstieg von  $\mu_k$  zur Folge hat. Dies erlaubt so einen  $R_a$ -Wert zu finden, bei dem der kinetische Reibungskoeffizient seinen minimalen Wert erreicht. Eine allgemeine Abhängigkeit für den Reibungskoeffizienten des Garns  $\mu_k$  formulierte Linz [8]:

$$\mu_k = f(\mu_0, \Gamma_F, \Gamma_R)$$

wobei:  $\Gamma_F$  - Werte, die die Oberflächenstruktur des Garns (Fäden) beschreiben,

$\Gamma_R$  - Werte, die die geometrische Oberflächenstruktur des Fadenführers beschreiben.

Eine Beurteilung der Werte für die Oberflächenstruktur von Filamentgarnen (von regulärer Oberflächenstruktur) bereitet keine besonderen Schwierigkeiten. Doch in jüngster Vergangenheit, war zur komplexen Beurteilung der geometrischen Oberflächenstruktur der Bau einer speziellen Einrichtung zum Messen nötig.

Einen Prototyp solcher einer Einrichtung mit der dazugehörigen Software, gefolgt durch Anweisungen zur Beurteilung und Bestimmung der spezifischen Oberflächenbeschaffenheit, wurde von Linz mit dem Ziel vorgestellt, diese für besondere textil - technische Zwecke optimal

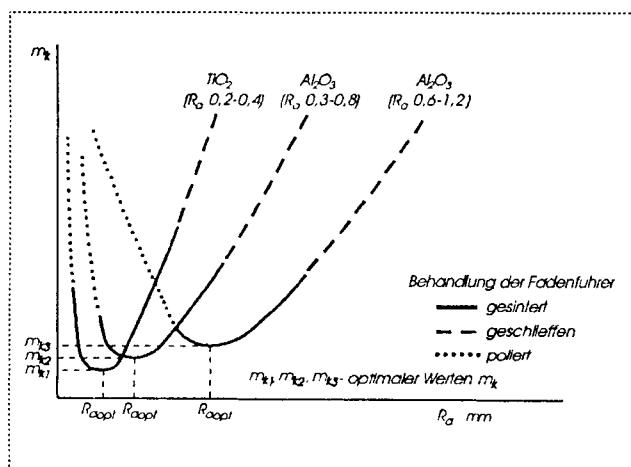


Abb. 2. Einfluß des  $R_a$ -Wertes der Fadenführeroberfläche auf den kinetischen Rauheitskoeffizienten  $\mu_k$  [8, 22]

Influence of  $R_a$  values of the thread guide surface on the kinetic friction coefficient  $\mu_k$ , [8, 22]

Uticaj srednje hrapavosti površine  $R_a$  vodice konca na kinetički koeficijent trenja  $\mu_k$  [8, 22]

Воздействие среднего значения шероховатости поверхности  $R_a$  направляющей нитки на кинетический коэффициент трения  $\mu_k$  [8, 22]

auswählen zu können. Überdies ist auch ermittelt worden, daß es bei gegenwärtigem Stand der Untersuchungen noch nicht möglich sei, funktionale Abhängigkeiten anzugeben, die den Einfluß solcher Oberflächenstrukturwerte auf die Reibungsverhältnisse zwischen Garn und Fadenführer bestimmen könnten, wie mittlerer Profilneigungswinkel oder mittlerer Krümmungsradius der Gipfel. Aus Linzens Arbeit geht auch nicht deutlich hervor, wie die angeführten Werte und der kinetische Reibungskoeffizient am besten zueinander in Beziehung zu setzen wären.

Abb. 2 stellt den Einfluß der gesinterten, geschliffenen und polierten Fadenführungsoberflächen aus  $TiO_2$  und  $Al_2O_3$  mit  $R_a$ -Werten auf den kinetischen Reibungskoeffizienten  $\mu_k$  von Garnen vor. Aus dem Verlauf der Funktion  $\mu_k=f(R_a)$  ergibt sich der Eindruck, als ob zwi-

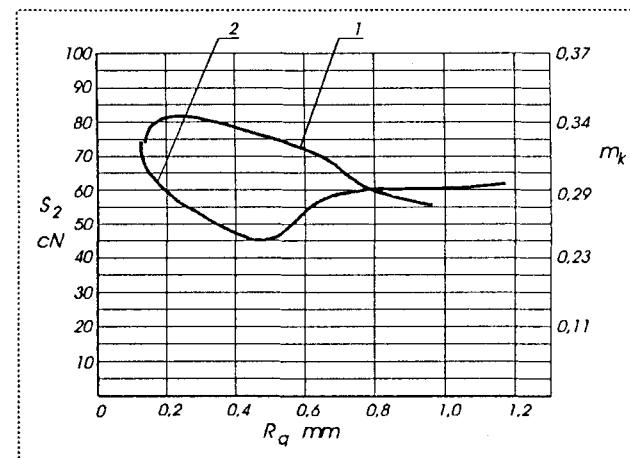


Abb. 3. Abhangigkeit des Garnreibungskoeffizienten  $\mu_k$  von der Nachbehandlung der Spindeloberfläche vom Durchmesser  $\phi 12,7$  mit einer Keramikschicht aus  $AlSiMg$  (Umschlingungswinkel bei Messungen -  $360^\circ$ , Eingangsspannung des Garns in den Fadenführer  $S_1=10\text{ cN}$ , Wickelgeschwindigkeit  $v=442\text{ m/min}$ , Garn:  $50\div10\text{ S. D. Nylon}$ ) [2]:

1 - Kurvenabschnitt, der das Anwachsen der Oberflächenrauheit von  $R_q=0,13\div1,02\text{ }\mu\text{m}$  darstellt,  
2 - Kurvenabschnitt, der die Verringerung der Oberflächenrauheit von  $R_q=1,14\div0,13\text{ }\mu\text{m}$  darstellt.

Zavisnost koeficijenta trenja konca  $\mu_k$  od završne obrade površine vreneta prečnika  $\phi 12.7$  sa keramičkim slojem od  $AlSiMg$ :

1 - porast površinske hrapavosti od  $R_q=0,13\div1,02\text{ }\mu\text{m}$ ,  
2 - smanjenje površinske hrapavosti od  $R_q=1,14\div0,13\text{ }\mu\text{m}$

Dependence of the thread friction coefficient  $\mu_k$  on final machining of the spindle surface of diameter  $\phi 12.7$  with ceramic layer of  $AlSiMg$  (subtended angle during measurement was  $360^\circ$ , input thread stress in the guide  $S_1 = 10\text{ cN}$ , winding speed  $v = 442\text{ m/min}$ , thread  $5010\text{ S. D. Nylon}$ ), Š2C:

1 - the part of the curve that shows increase of the surface roughness from  $R_q=0.13\div1.02\text{ }\mu\text{m}$ ,  
2 - the part of the curve that is related to decrease of the surface roughness from  $R_q=1.14\div0.13\text{ }\mu\text{m}$

Зависимость коэффициента трения нитки от числовой обработки поверхности нитинделя диаметра 12.7 с керамическим покрытием из  $AlSiMg$ :

1 - повышение поверхности шероховатости от  $R_q=0.13\div1.02\text{ }\mu\text{m}$

2 - понижение поверхности шероховатости от  $R_q=1.14\div0.13\text{ }\mu\text{m}$

schen dem mittleren Ra-Wert und dem Reibungskoeffizienten ein funktionaler Zusammenhang bestände [8, 13, 22].

Nach Davis und Grether [2] sei dieser Zusammenhang nicht so eindeutig (Abb. 3). Der Reibungskoeffizient kann nämlich bei konstantem R<sub>q</sub>-Wert (RMS) je nach Oberflächen - und Nachbehandlung variieren.

Daher wird in besonderen Fällen empfohlen - das betrifft die unter spezifischen Umständen arbeitenden und für die Gebrauchseigenschaften des ganzen Produkts verantwortlichen Elemente, inklusiv Fadenleitorgane - zwei oder mehrere Rauheitswerte zu einer eindeutig besseren Oberflächenbeurteilung anzuwenden. So zum Beispiel schlug D. Whitehouse [21] vor Reibungsüberflächen mit R<sub>a</sub>- und r-Werten zu beurteilen, J. Nara [9] und J. McCoola [1] mit R<sub>a</sub>- und Δ<sub>q</sub>- Werten, R. Sprag und D. Whitehouse [17] die Ziehblechqualität mit R- und n(0)-Werten, J. Greenwood [5] stochastische Flächen von normaler Ordinalen - und Gipfelverteilung der Profile mit R<sub>q</sub>- und Δ<sub>q</sub>- oder R<sub>a</sub>-, Δ<sub>q</sub>- und r-Werten, Nowicki [10, 11] kontaktbelastete Flächen mit R<sub>a</sub>- und Δ<sub>q</sub>-Werten, dagegen Gaußsche Flächen mit R<sub>a</sub>-, S<sub>m</sub>- und S-Werten. Es ist bemerkenswert, daß bei typischen Bedingungen behandelte Oberflächen normalerweise nicht isotropisch sind und der Gaußverteilung nicht unterliegen. Auf Betriebsebene wird die Oberflächenrauheit der diskutierten Fadenleitorgane von Spinnmaschinen allgemein mit Hilfe des R<sub>a</sub>-Wertes und durch die gegebene Behandlungsart bestimmt. Der vorliegende Artikel präsentiert Ergebnisse aus Untersuchungen zur Ermittlung von Werten, die die geometrische Oberflächenstruktur bezeichnen. Deren Anwendung soll die richtige Bestimmung von technologischen Anforderungen in Konstruktionszeichnungen hinsichtlich Oberflächenrauheit, insbesondere unter Berücksichtigung der Gebrauchs-eigenschaften, ermöglichen.

Zur Verwirklichung der so gestellten Aufgabe, bediente man sich zur Computer - Analyse von Oberflächenrauheit eines an der Filiale der TU Lodž in Bielsko-Biala entwickelten Systems.

Die Untersuchungen wurden im Rahmen der Grant-Fundation durchgeführt.

## 2. METHODIK ZUR KOMPLEXEN BEURTEILUNG DER OBERFLÄCHENRAUHEIT UND DES KINETISCHEN GARNREIBUNGSKOEFFIZIENTEN μ<sub>k</sub>.

Die Messung der Werte für die geometrische Oberflächenstruktur verläuft in zwei Etappen. In der ersten Etappe werden Information über das gemessene Profil (numerisch) auf eine Diskette aufgezeichnet. In der zweiten Etappe wird ein Kurvenfragment des Profils gewählt und seine Bearbeitung fortgesetzt. Anhand des

Systems ist es möglich, alle normalisierten und in modernen Meßgeräten angewandten Rauheitswerte zu bestimmen, und zwar die aus der Gruppe der vertikalen Werte: R<sub>p</sub>, R<sub>m</sub>, R<sub>y</sub>, R<sub>z</sub>, R<sub>c</sub>, R<sub>a</sub>, R<sub>q</sub> nach ISO [15], wie auch R<sub>t</sub> und R<sub>z</sub> nach DIN [23, 24]; die aus der Gruppe der horizontalen Werte: λ<sub>a</sub>, λ<sub>q</sub>, S<sub>m</sub>, S, l<sub>r</sub>, D nach ISO [15]; die aus der Gruppe von Werten, die sich auf die Form der Profilunebenheit beziehen: S<sub>K</sub>, Δ<sub>a</sub>, Δ<sub>q</sub>, t<sub>p</sub> für p=0.5, ..., 0.95; die Verteilung der Ordinalen für die Oberflächenrauheit und überdies:

- die Anzahl der Schnittpunkte auf der Profilmittellinie (pro Längeneinheit des Profils) - n(0) nach [4],
- liczba wierzchołków profilu (pro Längeneinheit des Profils) - m nach [4],
- die Zahl der Profilgipfel (pro Längeneinheit des Profils) - g nach [4],
- den mittleren Gipfelkrümmungsradius - r nach [4],
- die mittleren Neigungswinkel der rechten und linken Profilseite auf dem Niveau der mittleren Linie - Θ<sub>l</sub> und Θ<sub>r</sub>,
- die Höhenverteilung der Gipfel,
- die Funktion der Spektraldichte der Oberflächenrauheit,
- die Kurve des Oberflächenanteils nach [4],
- die Werte a und b der Funktion  $y=ax^b$ , die den Verlauf der ersten Kurvenabschritte bezüglich Linien- und Flächenanteil der Profilrauheit approximieren.

Messungen der Reibungsverhältnisse zwischen Garn und Halsoberfläche der Spindel für ballonloses Spinnen und die Bestimmung des Koeffizienten μ<sub>k</sub> erfolgte mit Hilfe eines F-meter - Gerätes Typ - 1182 der Firma Rothschild bei folgenden Bedingungen: Abzugsgeschwindigkeit 20 m/min, Einlaufkraft 50 cN, Messungsdauer 60 s, Messkopfgröße 100 G (0.98 N). Für die Meßbedingungen waren folgende Voraussetzungen gegeben: die durchschnittliche Fadenlaufgeschwindigkeit am Spindelhals bei Normalbetrieb betrug 20 m/min, der Umschlingungswinkel 90° nach PN-81/P-04807 [26], und die Eingangfadenspannung 50 cN, was 150% gegenüber der maximalen Spannung im Bereich Spindel - Abgabewalzen ausmachte.

Untersucht wurde eine Garnmischung aus: 30% Polyesterfaser, 30% Wolle vom Typ AB, 30% Wolle vom Typ C und 10% Abfallfasern in Form eines Kammzugs. Diese zeichnete sich durch folgende Werte aus (in Klammern werden Koeffizienten der Veränderlichkeit angegeben): Masse der Faser 110 tex (4.8%), Drall T=445.1 1/m (3.71%), Reißkraft F=799 cN (12.64%), Streckung λ=18.1% (13.3%).

Abmessungen wurden (wie bei Werten für die geometrische Oberflächenstruktur) am zylindrischen Abschnitt ( $\phi 22^{+0.1}$ ) der mit Hilfe verschiedener Oberflächen - und Nachbehandlungsarten erzeugten Halsoberfläche einer Spinnspindel durchgeführt und zehnmal wiederholt.

### 3. UNTERSUCHUNGSERGEBNISSE.

Untersucht wurde die Halsoberfläche von Spinnspindeln für ballonloses Spinnen (Abb 4 und 5) der Ringspinnmaschine PG-7A, hergestellt aus Duraluminium PA7ta

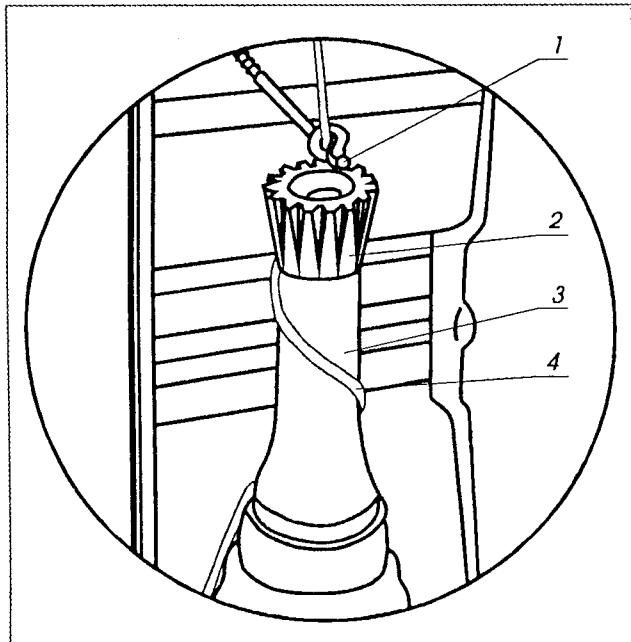


Abb. 4. Oberteil der Spindel für ballonloses Spinnen:  
1 - Fadenführer, 2 - Spinnkrone, 3 - Halsoberfläche,  
4 - Garn.

Gornji deo vretena bezbalonske predilice: 1 - vodica vretena, 2 - kruna vretena, 3 - površina vrata, 4 - konac  
Upper part of the spindle of the balloonless spinning machine: 1 - thread guide, 2 - spindle crown, 3 - neck surface, 4 - thread

Верхняя часть шинделя безбаллонного прядильного станка: 1 - направляющая нитки,  
2 - вершина шинделя, 3 - поверхность хвостовика,  
4 - нитка

bei Anwendung folgender Technologien der Oberflächen- und Nachbehandlung.

1. Schleifen mit Schmirgelleinen Nummer 150 und nachher der Nummer 320 bei einer Umfangsgeschwindigkeit des Spindelbelags  $v_p=3.11\text{ m/s}$ ;
2. Diamantendrehen ohne Abkühlung mit folgenden Werten:  $v_p=3.23\text{ m/s}$ ,  $p=0.03\text{ mm/u}$ ,  $g=0.15$ , wobei ein Drehmeißel 5529 mit Diamantenschneide der Firma Voegewencht wurde: Spanwinkel  $\gamma=6^\circ$ , Freiwinkel  $\alpha=2^\circ 30'$ , Eingriffswinkel  $\kappa_1=4^\circ$  und  $\kappa_2=35^\circ$ , Spitzenwinkel  $\varepsilon=51^\circ$ , Rundungsradius der Hauptschneidkante  $r_s=1.2\text{ mm}$ ;
3. Preßpolieren mit Hilfe einer Scheibe vom Durchmesser  $D_K=40\text{ mm}$  und einem Radius des Angriffsprofils  $r_k=9\text{ mm}$ , bei einer Anpreßkraft  $F=0.30\text{ kN}$ , einem Vorschub  $p=0.10\text{ mm/U}$ , einer Umfangsgeschwindigkeit des Belags  $v_p=2.07\text{ m/s}$ , einer Scheibendurchgangszahl  $i=1$  und einer Schmierung und Abkühlung mit Maschinenöl [10];
4. Schleifen mit Schmirgelleinen Nummer 150 und nachher Nummer 320, und Anodisieren [15];
5. Diamantendrehen bei denselben Größen wie in Punkt 2 und Anodisieren [15];
6. Preßpolieren bei denselben Größen wie in Punkt 3 und Anodisieren [15];
7. Schleifen mit Schmirgelleinen Nummer 150 und nachher 320, Anodisieren [15], Schleifen mit Schmirgelpapier Nummer 600;
8. Diamantendrehen bei denselben Größen wie in Punkt 3; Anodisieren [15], Schleifen mit Schmirgelpapier Nummer 600;
9. Preßpolieren bei denselben Größen wie in Punkt 3, Anodisieren [15], Schleifen mit Schmirgelpapier Nummer 600;

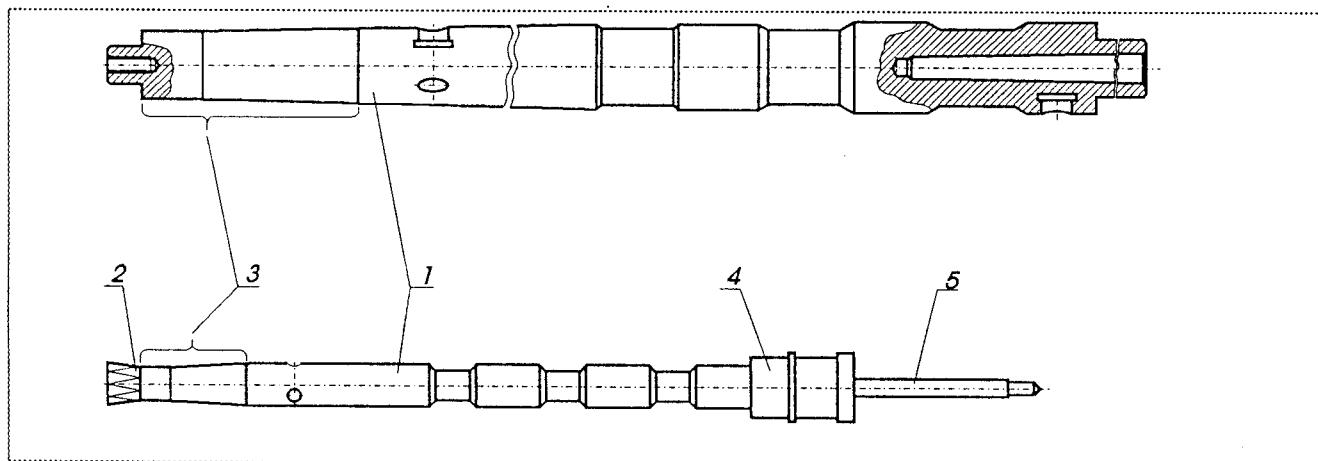


Abb. 5. Spindel für ballonloses Spinnen in einer Ringspinnmaschine aus Duraluminium PG-7A: 1 - Oberflächenbelag, 2 - Spinnkrone, 3 - Halsoberfläche, 4 - Ring, 5 - Dorn.

Vreteno kružne predilice od duraluminija PG-7A: 1 - površinska obloga, 2 - kruna vretena, 3 - površina vrata, 4 - prsten, 5 - tm

Spindle of the circular spinning machine made of duraluminum PG-7A: 1 - surface cover, 2 - spindle crown, 3 - tool surface, 4 - ring, 5 - thorn

Шиндель круглово-го прядильного станка из дур-алюминия PG-7A: 1 - йоверхностная оболочка, 2 - вершина, 3 - йоверхность хвостовика, 4 - кольцо, 5 - стержень

10. Auftragen einer  $0.10 \div 0.15 \text{ mm}$  dicken Keramikschicht aus  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (Härte ca  $144400 \text{ MPa}$  u. Korngröße  $20 \div 90 \mu\text{m}$ ) durch Plasma - Spitzen,
11. Plasma - Spitzen wie in Punkt 10, gefolgt durch Schleifen mit Schmirgelleinen Nummer 320 und mit Schmirgelpapier Nummer 600.

Die günstigsten Bedingungen für hartes Anodisieren von Halsoberflächen an Spindeln für ballonloses Spinnen herrschten bei:

- Gleichstrom  $25 \div 60 \text{ V}$ ,
- Stromdichte  $3 \text{ A/dm}^2$ ,
- Temperatur des Elektrolyts  $0 \div 6^\circ\text{C}$ ,
- Anodisierungsdauer ca  $80 \text{ min}$ .

Der Elektrolyt bestand (Gewichts - %) aus:

Salzsäure - 6%, Sulfosalizylsäure - 3%, Milchsäure - 2%, Glyzerin - 2%, Aluminiumsulfat - 0.1%, ergänzt durch destilliertes Wasser. Gemischt wurde der Elektrolyt durch Preßluft über Filter.

Das Plasma - Spritzen wurde unter Anwendung einer Plasma - Einrichtung vom Typ PLANCER PN-110 bei folgenden Größen durchgeführt: Leistung des Plasmbrenners -  $30 \text{ kW}$ , Durchsatzmenge des Argon (mit  $5 \div 10\%$  Wasserstoffgehalt) -  $2.5 \text{ m}^3/\text{h}$ , Pulver transportierendes Gas (Argon) -  $0.30 \text{ m}^3/\text{h}$ , Abstand zwischen Brenner und Werkstück -  $25 \text{ mm}$ .

Nach den besprochenen Behandlungsarten stellte man je zu fünf Stück Spinnspindeln für ballonloses Spinnen her. Rauheitsabmessungen wurden auf der zylindrischen Oberfläche der Spindel vom Durchmesser  $\phi 22^{+0.1}$  an drei, jede  $120^\circ$  voneinander entfernten Stellen, mit 15-maliger Wiederholung durchgeführt. Der Koeffizient  $\mu_k$  für Garn ist an derselben Stelle der Halsoberfläche ermittelt worden, als die Werte für die geometrische Oberflächenstruktur.

Die Meßergebnisse ausgewählter Werte der Oberflächenbeschaffenheit und des Reibungskoeffizienten  $\mu_k$  von elf Behandlungsarten die an der Halsoberfläche angewandt wurden, sind in Tabelle 1 zusammengestellt.

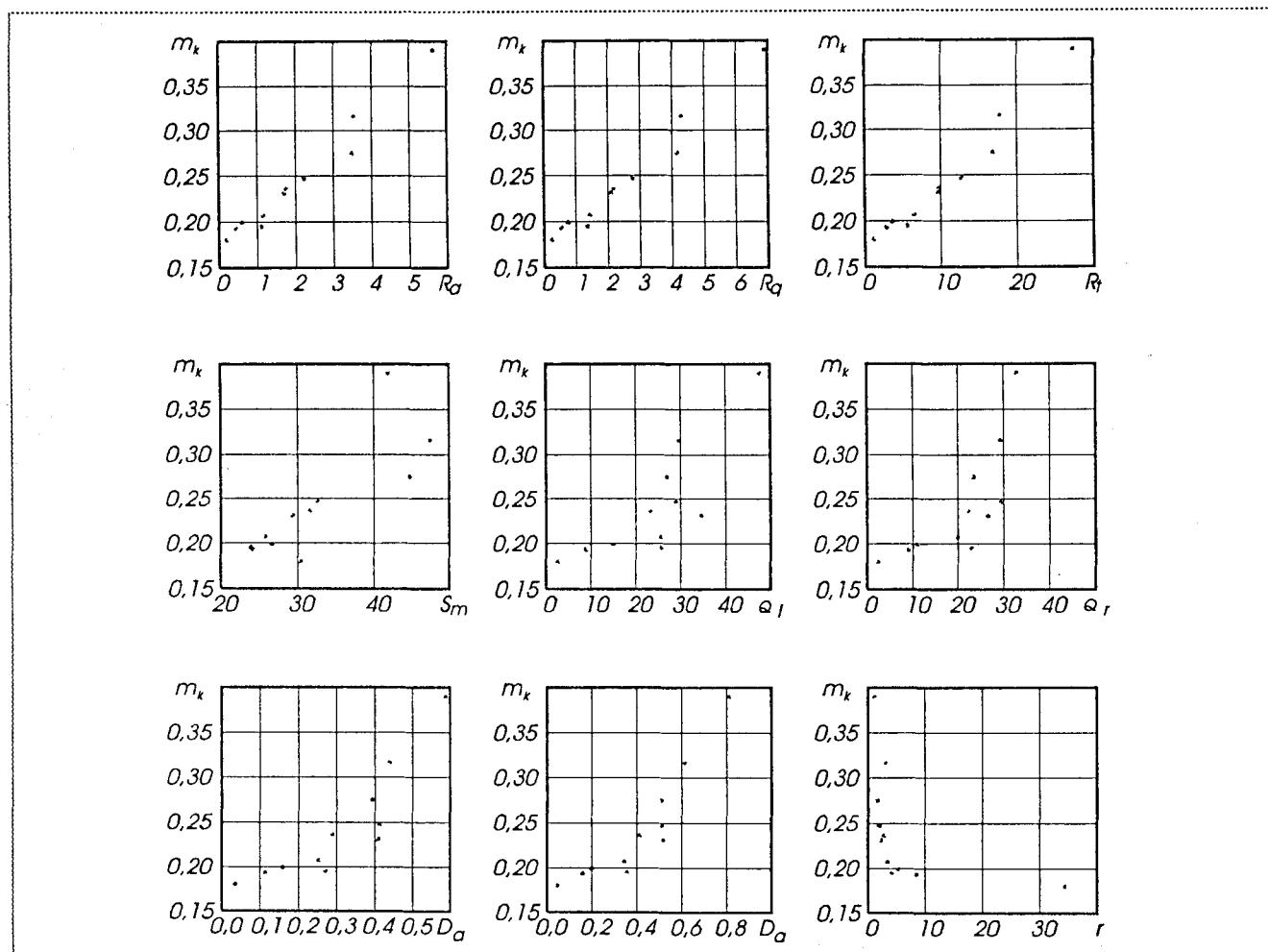


Abb. 6. Einfluß der einzelnen Werte der Halsoberfläche auf den Garnreibungskoeffizienten  $\mu_k$  bei elf Behandlungsarten.

Uticaj pojedinačnih karakteristika površine vrata vretena na koeficijent trenja konca  $\mu_k$  kod jedanaest vrsta ovrade

Influence of individual characteristics of the spindle neck surface on thread friction coefficient  $mk$  for 11 types of machining

Влияние отдельных характеристик поверхности хвостовика шпинделя на коэффициент трения  $\mu_k$  нитки для 11 видов обработки

Tabelle 2 enthält die für jede Technologie eigentlichen Korrelationskoeffizienten. Abb. 6 stellt die Meßergebnisse graphisch dar, i.e. in Form einer Abhängigkeit des Koeffizienten  $\mu_k$  von den einzelnen Werten der Halsoberfläche.

Aus vorangehendem ist zu ersehen, daß sich die Oberflächenwerte  $R_a$ ,  $R_q$  und  $R_t$ , aus den elf Behandlungsarten, deren Korrelationskoeffizient nahe der Einheit steht, um die Gerade gruppieren. Wenn sich aber der Koeffizient deutlich von der Einheit entfernt, ordnen sich die Oberflächenwerte zufallsabhängig. Nur beim Gipfelrundungsradius  $r$ , für den der Korrelationskoeffizient  $R = -0.448$  ist, ordnen sich die Punkte zu einer hyper-

belähnlichen Kurve. Die graphische Darstellung von  $\mu_k = f(r)$  läßt erkennen, daß eine Vergrößerung des Radius über einen bestimmten Wert keine weitere Verringerung des Garnreibungskoeffizienten verursacht.

Tabelle 3 zeigt die Werte des Korrelationskoeffizienten für drei Nachbehandlungsarten: Schleifen mit Schmirgelleinen (1), Diamantendrehen (2) und Preßpolieren (3), Abb. 7 dagegen die Abhängigkeit des Koeffizienten  $\mu_k$  von den ausgewählten Werten der Halsoberfläche.

Beim Spanen (Diamantendrehen), Schleifen (mit Schmirgelleinen) und plastischer Verformung (Preßpolieren) nähert sich der Korrelationskoeffizient der Oberflächenwerte der Einheit (mit Ausnahme von  $S_m$ , für den

*Tabelle 1. Werte der geometrischen Oberflächenstruktur und des kinetischen Garnreibungskoeffizienten  $\mu_k$  ermittelt an der Halsoberfläche von Spinnspindeln für ballonloses Spinnen zu elf Behandlungsarten.*

Nr	$R_a$	$R_q$	$R_t$	$\Delta_a$	$\Delta_q$	$S_m$	$r$	$\Theta_1$	$\Theta_r$	$\mu_k$
1	0.438	0.546	2.800	0.114	0.160	23.838	8.479	8.786	9.078	0.193
2	0.608	0.756	3.626	0.160	0.200	26.372	5.328	15.002	11.092	0.199
3	0.200	0.248	1.154	0.036	0.0463	0.214	34.485	2.700	2.374	0.180
4	2.230	2.774	12.748	0.414	0.512	32.338	2.006	28.972	29.418	0.247
5	3.488	4.172	16.900	0.394	0.510	44.544	1.702	27.032	23.452	0.275
6	1.710	2.098	9.738	0.410	0.518	29.146	2.296	34.660	26.592	0.231
7	1.156	1.434	6.568	0.254	0.344	25.532	3.463	25.630	19.932	0.207
8	1.764	2.178	9.754	0.290	0.412	31.356	2.798	23.336	22.362	0.236
9	1.112	1.356	5.618	0.272	0.356	23.610	4.154	25.638	22.942	0.195
10	5.644	6.898	27.374	0.588	0.812	41.652	1.148	47.728	32.920	0.390
11	3.546	4.306	17.832	0.440	0.614	47.168	3.127	29.576	29.300	0.316

*Tabelle 2. Werte des Korrelationskoeffizienten  $R$  der Beziehungen zwischen den Oberflächenwerten und dem Koeffizienten  $\mu_k$  für kinetische Garnreibung zu elf Behandlungsarten.*

Werte der geometrischen Oberflächenstruktur	$R_a$	$R_q$	$R_t$	$\Delta_a$	$\Delta_q$	$S_m$	$r$	$\Theta_1$	$\Theta_r$
Korrelationskoeffizient $R$	0.983	0.985	0.982	0.875	0.905	0.824	-0.448	0.802	0.750

*Tabelle 3. Werte des Korrelationskoeffizienten  $R$  zwischen den Oberflächenwerten und dem Koeffizienten  $\mu_k$  für kinetische Garnreibung zu drei Nachbehandlungsarten (Glätten): Schleifen mit Schmirgelleinen (1), Diamantendrehen (2), Preßpolieren (3).*

Werte der geometrischen Oberflächenstruktur	$R_a$	$R_q$	$R_t$	$\Delta_a$	$\Delta_q$	$S_m$	$r$	$\Theta_1$	$\Theta_r$
Korrelationskoeffizient $R$	0.994	0.994	0.999	0.998	0.998	-0.752	-0.977	0.977	0.996

*Tabelle 4. Werte des Korrelationskoeffizienten  $R$  zwischen den Oberflächenwerten und dem Koeffizienten  $\mu_k$  für kinetische Garnreibung zu drei Behandlungsarten: (7), (8) und (9).*

Werte der geometrischen Oberflächenstruktur	$R_a$	$R_q$	$R_t$	$\Delta_a$	$\Delta_q$	$S_m$	$r$	$\Theta_1$	$\Theta_r$
Korrelationskoeffizient $R$	0.974	0.980	0.998	0.688	0.898	0.999	-0.970	-0.959	0.052

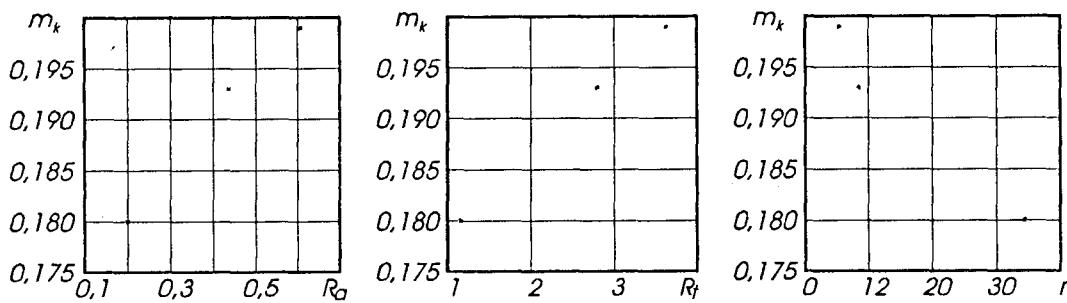


Abb. 7. Einfluß der einzelnen Werte der Halsoberfläche auf den Garnreibungskoeffizienten  $\mu_k$  bei drei Behandlungsarten: Schleifen mit Schmirgelleinen (1), Diamantendrehen (2), Preßpolieren (3)

Uticaj pojedinačnih karakteristika površine vrata vretena na koeficijent trenja konca  $\mu_k$  kod tri vrsta ovrade: brušenje alatom sa brusnom trakom (1), struganje dijamantskim alatom (2), poliranje pritiskom (3)

Influence of individual characteristics of the spindle neck surface on thread friction coefficient  $\mu_k$  for three types of machining: grinding with grinding tool with grinding strips (1), grinding with diamond tool (2), pressure polishing (3)

Влияние отдельных характеристик поверхности хвостовика шинделя на коэффициент трения  $\mu_k$  нитки при трех видах обработки: при шлифовании лентой (1), точении алмазом (2), полировании под давлением (3)

$R=0.752$  ist). Während dieser Prozeß besteht die beste Korrelation zwischen dem kinetischen Reibungskoeffizienten  $\mu_k$  des Garns und den Rauheitswerten  $R_t$  ( $R=0.999$ ),  $\Delta_a$  ( $R=0.998$ ),  $\Delta_q$  ( $R=0.998$ ) und  $\Delta_r$  ( $R=0.977$ ).

Tabelle 4 präsentiert Werte des Korrelationskoeffizienten für drei weitere Behandlungsarten und zwar: Schleifen mit Schmirgelleinen Nummer 150 und 320, Anodisieren und Schleifen mit Schmirgelpapier Nummer 600 (7), Diamantendrehen, Anodisieren und Schleifen mit Schmirgelpapier 600 (8), Preßpolieren, Anodisieren und Schleifen mit Schmirgelpapier 600 (9).

Abb. 8 zeigt die Abhängigkeit des kinetischen Garnreibungskoeffizienten  $\mu_k$  von den ausgewählten Werten der geometrischen Halsoberflächenstruktur.

Bei Oberflächen, die durch elektrolytische Anodisierung und durch Schleifen mit Schmirgelpapier Nummer 600 erhalten wurden, nähern sich die Werte des Korrela-

tionskoeffizienten für einzelne Oberflächenwerte der Einheit, mit Ausnahme für:  $\Delta_a$  ( $R=0.688$ ),  $\Delta_q$  ( $R=0.898$ ),  $\Theta_l$  ( $R=0.959$ ) und  $\Theta_r$  ( $R=0.052$ ).

Nicht einfach auszulegen sind die großen Wertunterschiede des Korrelationskoeffizienten bei mittlerem Neigungswinkel der Gipfel auf der linken  $\Theta_l$  und der rechten Profilseite  $\Theta_r$ , der Oberflächen, welche durch Anodisieren und Schleifen mit Schmirgelpapier Nummer 600 erhalten wurden. Sie sollten zusätzlicher Untersuchungen unterzogen werden.

Die Analyse der Untersuchungsergebnisse führt zur Überzeugung, daß die nach dem Spritzverfahren mit dem Keramikpulver -  $Al_2O_3$  erhaltenen Oberflächen-Qualitäten, dank ihrer Spezifik einer separaten Betrachtung bedürfen. Doch Oberflächenstrukturen, wie die Halsoberfläche aus Duraluminium PA7ta, die durch Schleifen mit Schmirgelleinen, Diamantendrehen, Preßpolieren, Hartanodisieren und Schleifen mit Schmirgel-

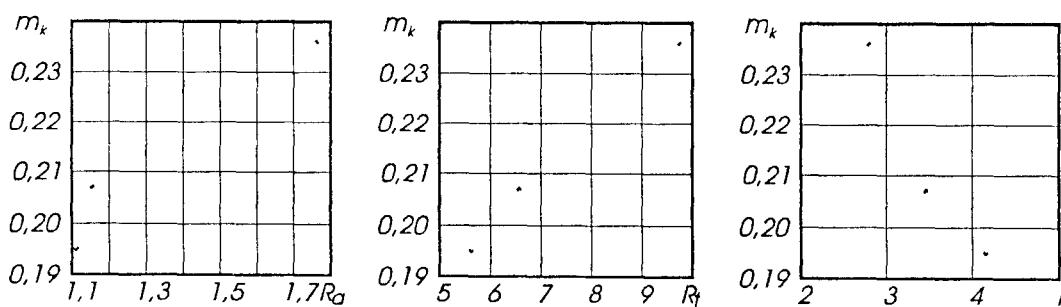


Abb. 8. Einfluß der einzelnen Werte der Halsoberfläche auf den Garnreibungskoeffizienten  $\mu_k$  bei drei Behandlungsarten: (7), (8), (9)

Uticaj pojedinačnih karakteristika površine vrata vretena na koeficijent trenja konca  $\mu_k$  kod tri vrsta ovrade: (7), (8) i (9)

Influence of individual characteristics of the spindle neck surface on thread friction coefficient  $\mu_k$  for three types of machining: (7), (8), (9)

Влияние отдельных характеристик поверхности хвостовика шинделя на коэффициент трения  $\mu_k$  нитки при трех видах обработки: (7), (8), (9)

papier erzielt wurden, wiesen die besten Wechselbeziehungen des kinetischen Reibungskoeffizienten  $\mu_k$  zu den Werten  $R_t$ ,  $R_q$ ,  $R_a$ ,  $\Delta q$ ,  $\Delta a$  und  $r$  auf.

#### 4. FOLGERUNG

Die Untersuchungsergebnisse zeigen, daß nur zwei bzw. drei Rauheitswerte nötig sind, um eindeutig die geometrische Oberflächenstruktur solder Fadenleitorgane zu bestimmen wie: Halsoberfläche der Spindel, Fadenführer und Schleuder an Spinnmaschinen ohne Spindel.

Bezug nehmend auf den Wert des Verhältnisses zwischen ausgewählten Oberflächenwerten und dem kinetischen Reibungskoeffizient  $\mu_k$  für Garn wird seitens der Autoren vorgeschlagen, (abhängig von den zu Verfügung stehenden Meßgeräten) folgende Werte mengenmäßig anzuwenden:

- zwei:  $R_t$  und  $\Delta q$ ,
- drei:  $R_t$ ,  $\Delta q$  und  $r$ .

Der  $R_t$ -Wert aus der Gruppe vertikaler Parameter wird deshalb empfohlen, weil er am stärksten mit dem Koeffizienten  $\mu_k$  korreliert, und dadurch auf die Gebrauchs-eigenschaften der mit Garn in Berührung komenden Oberflächen Einfluß ausübt.

#### LITERATUR

- [1] COOL MC J.: **Charakterization of Surface Anisotropy.** Wear, vol. 37/1/1978.
- [2] DAVIS M. P., GREATHER C. M.: **Frictional Properties of Ceramic Thread Guide Surfaces.** Modern Textiles, 1971, nr 3, 61.
- [3] DWORAK U.: **Werkstoffeigenschaften von Aluminiumoxid-Fadenleitororganen im Vergleich zu anderen Werkstoffen.** Chemiefasern (textil-industrie), 3, 1975.
- [4] GORECKA R., POLASKI Z.: **Metrologia warstwy wierzchniej.** WN-T, Warszawa 1983.
- [5] GREENWOOD J.: **A unified theory of surface roughness.** Proc Roy. Soc. London A 393 1984.
- [6] JAKUBIEC W.: **Komplexe Analyse der Oberflächenrauheit, VII.** Internationales Oberflächenkolloquium, Wissenschaftliche Tagungen der Technischen Universität Karl-Marx-Stadt 1/1988.
- [7] KORDEK J., PLONKA S.: **Wpływ przerabianego surowca na trwałości okladzin przqdzalniczych do przqdzenia bezbalonowego.** Technik Wlokienniczy, 1988, nr. 8.
- [8] LINZ H.: **Zum Problem der Wechselwirkung zwischen Faden und Fadenleitororganen bei schnell laufenden Textilmaschinen.** Melliand Textilberichte, 1972, nr. 6.
- [9.] NARA I.: **Two Dimensional Representation of Surface Roughness.** Ann CIRP, vol. 9/1/1961.
- [10] NOWICKI B.: **Badania mikrostruktury geometrycznej powierzchni i metod jej oceny.** Prace Naukowe, Politechnika Warszawska. Mechanika z. 70/1980.
- [11] NOWICKI B.: **Multiparameter representation of surface roughness.** Wear, vol. 102/1985.
- [12] Nowicki B.: **Struktura geometryczna. Chropowatość falistoa powierzchni.** WNT, Warszawa 1991.
- [13] PISERA W.: **Wpływ chropowatoci powierzchni prowadnika na kształtowanie się współczynnika tarcia.** Zeszyty Naukowe Politechniki Łódzkiej, nr 358, Mechanika z. 58, 1980.
- [14] PLONKA S.: **Nagniatanie okladzin wrzecion przqdzalniczych z duralu PA7.** Mechanik, 1982, nr. 1.
- [15] PLONKA S., Wasilewski P.: **Wpływ nagniatania i utleniania anodowego na trwałość okladzin wrzecion przqdzalniczych.** Przegl\_d Wlokienniczy, 1985, nr. 1.
- [16] PLONKA S.: **Wpływ obróbki powierzchniowej i wykaczaj\_cej na mikrogeometrię warstwy wierzchniej szyjek okladzin wrzecion przqdzalniczych.** Filia Politechniki Łódzkiej, Bielsko-Biala 1991, (praca nie publikowana).
- [17] SPRAG R., WHITEHOUSE D.: **A new unified approach to surface roughness metrology.** Proc. Inst. Mech. Eng. nr. 47 1970/71.
- [18] STURHAHN H. H., EHRLER P.: **Kennzeichnung von oxidkeramischen Fadenführern für den textilen Bereich.** Chemiefasern (textil-industrie), 2, 1975.
- [19] STURHAHN H. H., EHRLER P.: **Reibungsverhalten von oxidkeramischen Fadenleitororganen bei texturierten Filamentgarnen und Stapelfaser-garnen.** Chemiefasern (textil-industrie), 5, 1976.
- [20] WEGENER W., SCHULER B.: **Beitrag zur Grundlagenermittlung des Reibungskoeffizienten von Fäden.** Textilindustrie 4/1964, 5/1964, 6/1964.
- [21] WHITEHOUSE D.: **Surfaces - a link between manufacture and function.** Proc. Inst. Mech. Eng. v. 192/1978.
- [22] Degussit-Fadenführerwerkstoffe. Technische Information.
- [23] DIN 4762. Erfassung der Gestaltabweichungen 2. bis 5. Ordnung an Oberflächen an Hand von Oberflächenschnitten; Begriffe für Bezugssysteme und Maße.
- [24] DIN 4768. Ermittlung der Rauheitsmaßgrößen  $R_a$ ,  $R_z$ ,  $R_{max}$  mit elektrischen Tastschnitt-geräten. Umrechnung der Maßgröße  $R_a$  in  $R_z$  und umgekehrt.
- [25] ISO 4287/1-1984. Surface roughness - Terminology - Part 1: Surface and its parameters.
- [26] PN-81/P-04807. Metody badań wyrobów włókienniczych. Przqdza i nici. Wyznaczanie sily tarcia i współczynnika tarcia.

# Uticaj obradnih metoda na geometrijsku strukturu površine i kinetičke koeficijente trenja konca

U radu se razmatraju karakteristike površine vodećih organa konca tekstilne mašine: vodice, vretena, centrifuge i dr. i uslovi koji treba da budu ispunjeni:

- mali koeficijent trenja konca u odnosu na navedene površine, zavisan uglavnom od strukture površine primenjene vrste obrade;
- da budu izrađeni od materijala koji isključuje elektrostatičke pojave u koncu, ili ih smanjuje na najmanju meru;
- da budu dovoljno stabilni u pogledu habanja i oksidacije, a značajni su za kvalitetan rad i vek trajanja vitalnih delova tekstilnih mašina.

Za realizaciju postavljenih zadataka koristi se sistem kompjuterske analize hrapavosti površine razvijen na TU Lod (Bielsko-Biala). Rezultati eksperimentalnih ispitivanja dati su na primeru analize hrapavosti površine vrata vretena, obrađenog različitim postupcima obrade, a ispitivan je konac mešavine vune i poliestera.

Mereni parametri  $R_a$ ,  $R_q$  i  $R_t$  i određeni korelacioni koeficijenti omogućili su grafičko predstavljanje zavisnosti kinetičkog koeficijenta trenja konca  $\mu_k$  u funkciji od izmerenih parametara hrapavosti površine pri različitim postupcima obrade.

## Influence of Machining Methods on Geometrical Structure of Surface And Kinetic Friction Coefficients of The Thread

In The Paper Are Considered Surface Characteristics Of The Thread leading organs of the sewing machine: guide, spindle, centrifuge and others, and conditions that should be satisfied:

- low friction coefficient, with respect to the mentioned surfaces, which depends on surface structure and applied kind of machining;
- to be made of material which excludes electrostatic phenomena on the thread, or at least which reduces them to the smallest extent;
- to be sufficiently stable with respect to wear and oxidation; and that are important for quality operation and life of vital parts of textile machines.

For realization of the set tasks we used the system of computer analysis of surface roughness developed at Technical University Lodj, (Bielsko Biala). Results of experimental investigations are given on the example of surface roughness analysis of the spindle neck, machined by different procedures, and the tested thread is the mixture of wool and polyester. Measured parameters:  $R_a$ ,  $R_q$  and  $R_t$  and other correlation coefficients have enabled graphical representation of relations:  $\mu_k=f(R)$  and  $\mu_k=f(r)$  of the kinetic friction coefficient  $\mu_k$  as a function of measured surface roughness parameters measured at different machining procedures.

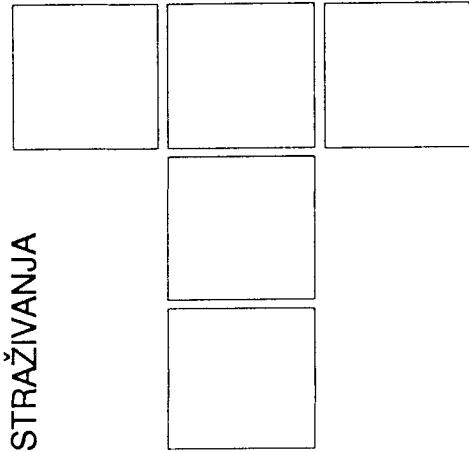
## Влияние методов обработки на геометрическую структуру поверхности и кинетические коэффициенты трения нитки

В работе рассматриваются характеристики поверхности ведущих органов нитки в текстильных машинах: направляющей, шинделе, центрифуги и др., наряду со следующими необходимыми условиями:

- небольшим коэффициентом трения нитки по поверхностиям перечисленных деталей, определяемым в основном структурой поверхности и видом обработки;
- избавлением ведущих нитку деталей из материала, вызывающего электростатические явления в нитке или максимально снижающего их;
- избавлением ведущих деталей из материала обладающего достаточной стойкостью на изнашивание и окисление уз большое значение качества избавления и долговечность оставшисьных деталей машины в целом.

Для выполнения приведенных задач авторы провели компьютерный анализ шероховатости поверхности, разработанный на ТФ в городе Лодзи (отдел в г. Бельск). Результаты проведенных опытов исследований показаны на примере анализа шероховатости поверхности хвостовика шинделя, обработанного различными способами, при использовании нитки из комбозита шерсти и полиэстера.

Измерительные параметры шероховатости  $R_a$ ,  $R_q$  и  $R_t$  и определенные соотношельные коэффициенты обеспечивают возможность графического изображения зависимости кинетического коэффициента трения нитки  $\mu_k$  от измеряемых параметров шероховатости поверхности при различных способах обработки.



K. S. TONEV

# An Experimental Study of Wear of Stainless Steels for Valve Sealing Materials

## 1. INTRODUCTION

The topic of wear takes on new significance in the last four decades. The main reason behind this increased interest in wear is the recognition of its economic effect. In the present and especially in the future economic situation, material and energy conservation is becoming more important [1]. The reduction of wear leads to considerable savings in manpower, lubricant, investment, longer life of machines, fewer breakdowns, less maintenance and replacement. In view of these savings, wear prediction and prevention in service conditions is of major interest. Wear of valves is one example.

From the functional point of view the most important part of each valve (Figure 1) is the seal, i.e. the element in the valve that must minimize or eliminate leakage of fluid when the valve is closed. The ability of the valve to achieve zero leakage depends on how well the seal performs under operating conditions. This implies an obvious need to study and understand the wear process involved. Unfortunately, as in all wear situations where many processes and parameters are mutually related, the wear study of stainless steel for valve sealing materials, is a difficult task. In order to isolate some of the processes and parameters acting in practical situations, a laboratory wear test was performed under dry sliding conditions in normal atmospheric environment. Although, even in these simplified experimental conditions, the general pattern of the wear of stainless steels is affected by a large

number of parameters, an attempt is made to explain the process and the results in terms of operable wear mechanisms. The results indicate that adhesive wear has a dominant role in the early stages of the process, but other main types of wear mechanisms [2] are also present. The presence of adhesion originally proposed by friction theory of Bowden and Tabor [3], emphasizes the importance of the factors that influence it [4, 5]. Among them, the influence of oxide films and hardness is acknowledged [6, 7, 8]. The adhesive wear mechanism operating when two metallic surfaces are rubbed against each other, causes transfer of material from the counter partner [9] and severe damage on the surfaces.

## 2. EXPERIMENTAL

Figure 1 shows a sectioned gate valve for steam, water and petroleum systems. The seal of such valve consists of moveable element - wedge (3) and seat (2). The wedge is driven up and down between two tapered seats by hand wheel (1). The valve is closed when the wedge is in down position and opens when it is in up position.

After considering the functioning of the gate valve and the possible wear mechanisms when metallic surfaces slide together in normal environmental conditions, the following design criteria were used to construct the wear device: load, relative contact area, mechanical freedom, sliding speed and distance and cyclic movement. Other design criteria such as ease of operation, test monitoring and control, automatic recording of the forces involved, adaptations to other designs were also considered during the development and construction of the wear test device. Very important criteria that do not meet the actual

Prof. dr Kiril S. Pop Tonev, Faculty of Technology and Metallurgy, University "St. Kiril and Metodij" Skopje,  
FJR Macedonia

conditions in which the valves sealing surfaces are working, seems to be environment and temperature.

The wear testing device (Figure 2) was mounted on the Instron Universal Testing Machine. The use of the Instron Machine can provide cyclic movement, constant speed, continuous recording of forces and mechanical freedom of the stem-wedge assembly. The set up of the Instron controls was in such a way that cycling between chosen maximum load when the samples are in compression and complete separation of the samples in extension was assured.

The maximum load of 5690294 N was chosen to be applied for all tests. One cm/min. cross-head speed of the stem-wedge assembly was used for the experiments. Ac-

cordingly, all tests were conducted under high loads and low sliding speeds. The experiment was designated to give information on wear and friction as a function of number of cycles. For all combinations of different hardnesses of the sliding pairs, six sets of specimen were tested and examined after 1, 10, 20, 40, 80 and 130 cycles. Each set contains four samples, two wedges and two seats.

Since 410 grade stainless steel (A.I.S.I. Classification) is using for wedge material and 416MX grade stainless steels for seat material in gate valves, the same combination of materials for sliding pairs (Fig. 2) was chosen in this investigation. Both grades of stainless steels are in the subgroup of 400 series that can be hardened by heat treatment. These steels contain 11.5-14.0 w.% Cr and no more than 0.15 w.%C. Type 416MX with a typical sulfur content of 0.32 w.%, possesses excellent machinability provides a fine surface finish.

In order to investigate the effect of hardness on the function and wear behavior of the sealing materials, both grades of stainless steels were heat treated. Higher level of hardness of the specimens was achieved by heating to 955°C, quenching in oil and tempering at 232°C for 1 hour. Specimens with lower hardness were obtained by

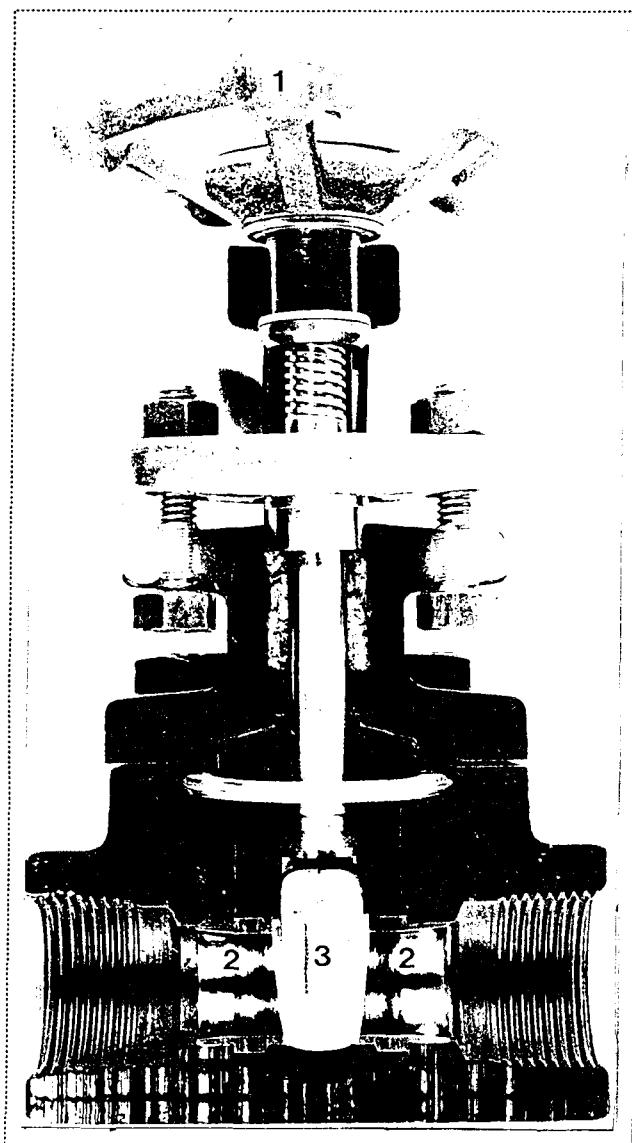


Figure 1. Sectioned sight of a gate valve with wedge in down position; (1) - wheel, (2) - seat, (3) - wedge.

Presečni pogled ulaznog ventila sa klinom u donjem položaju; (1) - točak, (2) - sedište, (3) klin

Сечение входного клапана со штанкой в нижнем положении; (1) - каток, (2) - седло клапана, (3) - штанка

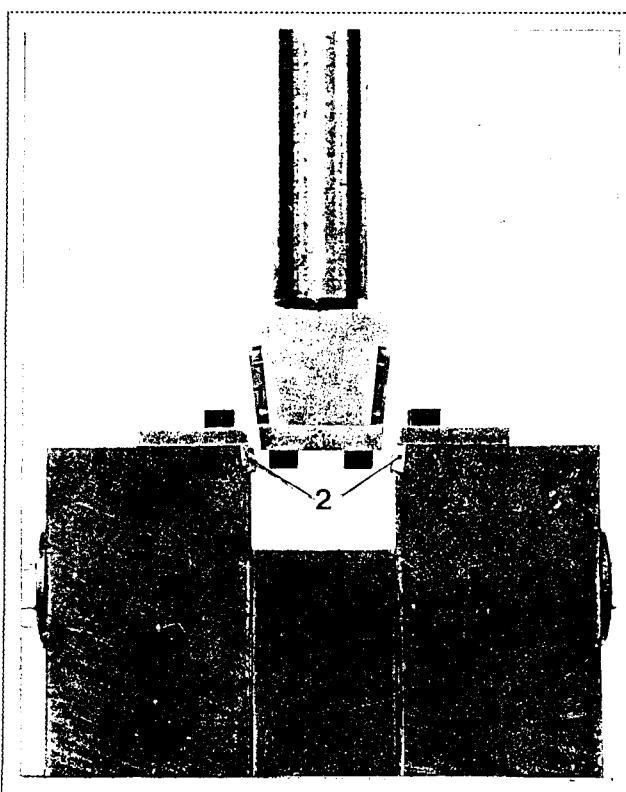


Figure 2. The wear testing device with two pairs of "edges" (1) and "seats" (2) samples of stainless steels in separation.

Uredaj za ispitivanje habanja sa dva para uzoraka "ivica" (1) i "sedišta" (2) od nerđajućeg čelika pri razdvajanju

Установка для испытания изнашивания с двумя парами образцов "кромок" (1) и "седёл" (2) из нержавеющей стали при разделении

heating to 955°C, quenching in oil and tempering at 582°C for 1 hour.

In all wear testing, grade 410 was used as a wedge material and grade 416MX as a seat material. The combinations of different hardness for the wedge and seat, resulting from the heat treatment, were designed as follows:

- Wedge (31.7 Rc) - seat (24.0 Rc) marked in the further text as soft-soft (S-S) combination.
- Wedge (45.3 Rc) - seat (24.0 Rc) marked in the further text as hard-soft (H-S) combination.
- Wedge (45.3 Rc) - seat (36.1 Rc) marked in the further text as hard-hard (H-H) combination.

Each of the specimens was machined to the final dimension of 25.4 x 6.3 x 3.5 mm (seat) and 19.0 x 6.3 x 3.5 mm (wedge), leaving 0.13 mm for removal after heat treatment. The specimens were hand ground on 400 and 600 grit papers and then polished with normal alumina paste on a cloth wheel. After polishing all samples were washed

with water and alcohol and ultrasonically cleaned. The samples were again washed with hot water and soap, then washed with alcohol and blown dry.

In an attempt to clarify and classify of wear mechanisms that can occur, several different analytical techniques were used. In this paper, the examination of the worn surfaces of the test specimens and the particles generated during the test by optical and SEM are presented.

### 3. RESULTS AND DISCUSSION

From about 300 scanning electron micrographs of the worn wedge and seat surfaces, those shown in Figures 3 through 13 are the most characteristic. The examinations of the micrographs using stage by stage sequence of the events, give evidence of the involved regimes of wear. The study of the worn surfaces reveals the following observations:

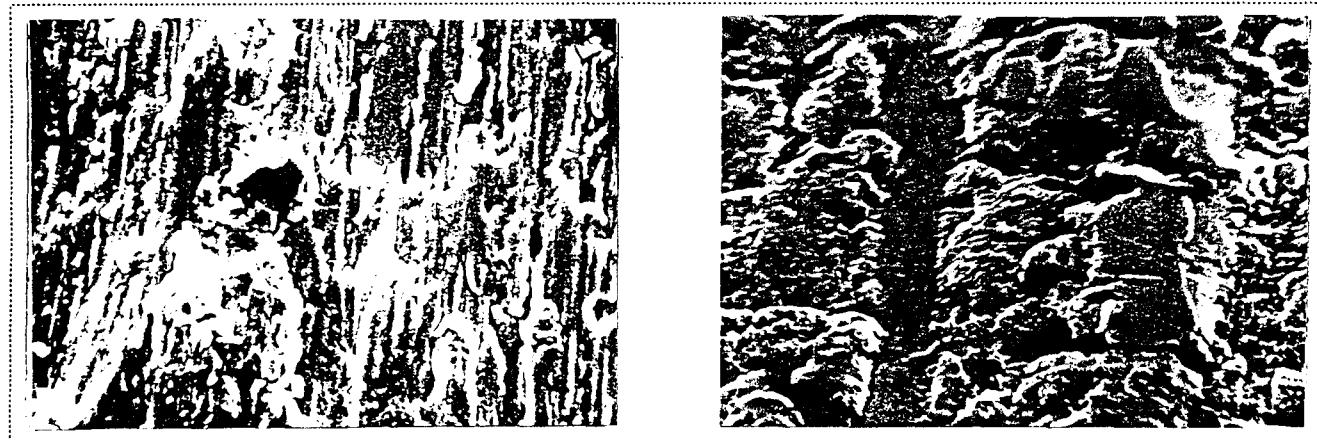


Figure 3. Scanning electron micrographs of worn wedge surface after 1 cycle. Combination hard-soft; (a) x1400, (b) x2300  
Mikrografi sa skenirajućeg elektronskog mikroskopa pohabane površine klin posle 1 ciklusa. Kombinacija tvrdo - meko;  
(a) x1400, (b) x2300

Микрографы изношенной поверхности седла клина после 1 цикла, полученные на электронном сканирующем микроскопе. Сочетание твёрдое-мягкое; (а) x1400, (б) x2300

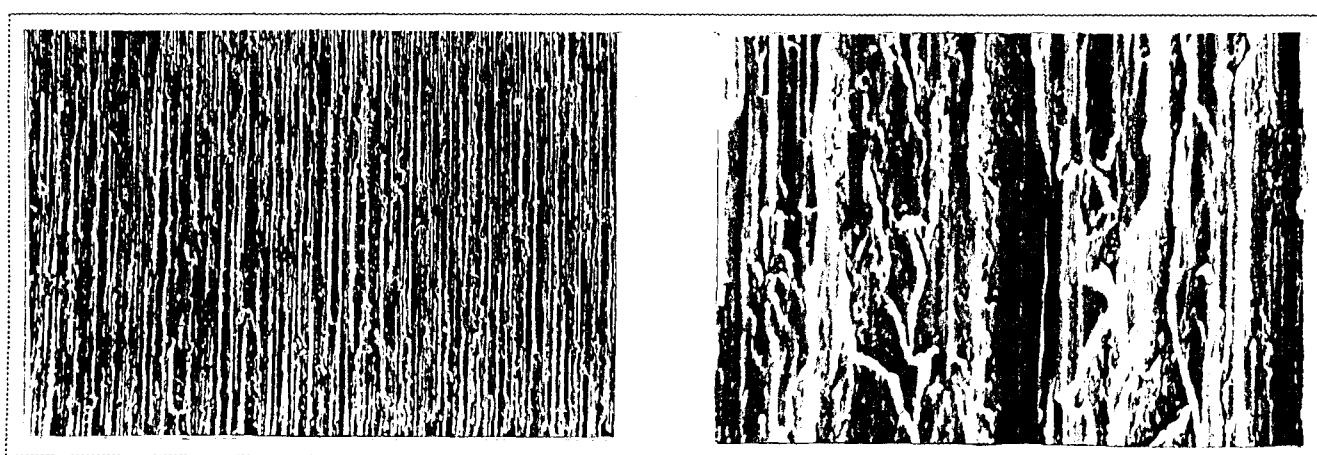


Figure 4. Scanning electron micrographs of worn seat surface after 1 cycle. Combination hard-soft; (a) x68, (b) x1350  
Mikrografi sa skenirajućeg elektronskog mikroskopa pohabane površine sedišta posle 1 ciklusa.  
Kombinacija tvrdo - meko; (a) x68, (b) x1350

Микрографы изношенной поверхности седла после 1 цикла, полученные на электронном сканирующем микроскопе. Сочетание твёрдое-мягкое; (а) x68, (б) x1350

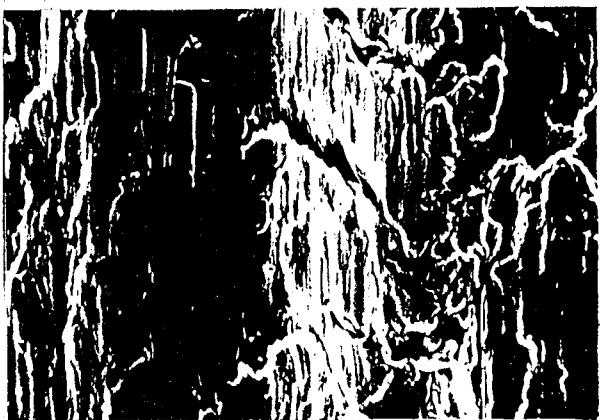


Figure 5. Scanning electron micrographs of worn seat surface after 10 cycles. Combination hard-soft; (a) x1350, (b) x780

Mikrografi sa skenirajućeg elektronskog mikroskopa pohabane površine sedišta posle 10 ciklusa.  
Kombinacija tvrdo - meko; (a) x1350, (b) x780

Микрофотографии изношенной поверхности седла клаинана после 10 циклов, полученные на электронном сканирующем микроскопе. Сочетание твёрдое-мягкое; (а) x1350, (б) x780

1. For hard-soft combination of stainless steels, at the beginning (1 cycle) of the test, a transfer of material mainly from the seat to the wedge is observed (Fig. 3). The seat surfaces possess long wear tracks caused by abrasive action of the harder wedge asperities (Fig.4). No loose wear particles can be seen on both surfaces.

After 10 cycles, the main changes are present on the worn seat surface (Fig. 5). The changes are characterized by appearance of small and large wear fragments and formation of periodic lips in the wear path that are running perpendicularly to the direction of sliding. The lip structure suggests a tensile tearing and subsurface shearing of the material [10]. The examination of the wedge and seat surfaces in the later stages of the process shows two typical features:

a) The formation of regions that can be termed "islands", standing above their surroundings. These islands possess smooth top surfaces with fatigue cracks

developed as the number of the cycles were increased (Fig. 6);

b) A distribution of large number of wear particles near to the islands (Fig. 6-a). Collected wear particles from the mating surfaces show mostly plate-like forms (Fig. 7) and different dimensions. The presence of these metallic platelets suggests wear form which corresponds to the delamination theory of wear proposed by Suh [11].

2. Figure 8 shows worn areas of wedge and seat surfaces of hard-hard combination after 1 cycle. Although the abrasive grooves can be observed, clearly more damage is caused on the surface, probably by adhesive action between contacting asperities, than it was the case in hard-soft combination. Again, no loose wear particles can be found after 1 cycle, but large displaced metallic fragments are present on the surfaces.

The appearance of the surfaces after greater number of cycles exhibits the similar characteristics as it has been



Figure 6. Scanning electron micrographs of worn seat surfaces after 80 cycles. Combination hard-soft; (a) x1400, (b) x270

Mikrografi sa skenirajućeg elektronskog mikroskopa pohabane površine sedišta posle 80 ciklusa.

Kombinacija tvrdo - meko; (a) x1400, (b) x270

Микрофотографии изношенной поверхности седла клаинана после 80 циклов, полученные на электронном сканирующем микроскопе. Сочетание твёрдое-мягкое; (а) x1400, (б) x270



*Fig. 7. Scanning electron micrograph of wear particles recovered from the wear system after 130 cycles.*

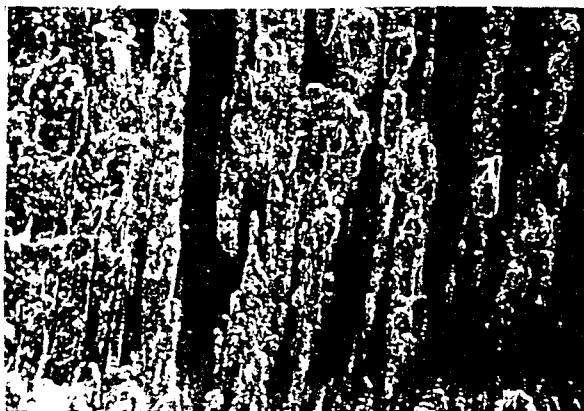
*Combination hard-soft, x 850*

*Mikrograf sa skenirajućeg elektronskog mikroskopa pohabanih čestica dobijenih iz sistema habanja posle 130 ciklusa. Kombinacija tvrdo - meko, x 850*  
*Микрографы изношенных частиц, полученные из изнашивающей системы после 130 циклов.*  
*Сочетание твёрдое-мягкое; x850,*

red fragment from the seat is 416MX stainless steel, a lot of elongated inclusions can be observed. In the same time, Fig. 10 shows that abrasive actions are taking place on both surfaces with transfer of material from the opposite surface.

Typical appearance of the worn surfaces after 10 cycles is presented in Fig. 12. Severe damage resulting from adhesive contacts may be noted on both wedge and seat specimens. Large metallic wear particle was recovered from the wearing system after 20 cycles (Fig. 13). The sequences occurring during the later stages of wear process exhibit the same pattern as in the case of hard-hard and hard-soft combinations.

On the basis of the presented results, wear behavior of 410-416MX stainless steels during specific dry wear testing in normal atmospheric conditions may be considered. The results clearly indicated the existence of different wear mechanisms. However, the most important form of wear that causes severe damage on the surfaces



*Figure 8. Scanning electron micrographs of worn surfaces after 1 cycle. Combination hard-hard; (a) wedge, x68, (b) seat, x68*

*Mikrografi sa skenirajućeg elektronskog mikroskopa pohabanih površina posle 1 ciklusa.*

*Kombinacija tvrdo - meko; (a) klin, x68, (b) sedište, x68*  
*Микрографы изношенных поверхностей после 1 цикла, полученные тем же способом.*  
*Сочетание твёрдое-мягкое; (a) шайба x68, (b) седло x68*

shown for hard-soft combination. Risen islands with smooth top surfaces and large number of loose wear particles around them are even more clearly pronounced.

3. The examination of scanning electron micrographs taken from the partners in soft-soft combination of stainless steels reveals very important features concerning the mechanism of wear. Fig. 9 shows that a large metallic fragment from the seat surface is transferred to the wedge in only 1 cycle resulting in extensive damage and roughness on both surfaces. The perpendicular cut parallel with the direction of sliding was made through the wedge sample and wear fragment lying on it, by means of spark cutting machine. The metallographically prepared section (Fig. 11) shows that the transferred fragment is cold-welded to the supporting surface and no boundary can be seen between the partners. Since the transfer-

is likely to be promoted by adhesion. The observations confirm that adhesion or cold-welding are taking place. Assumption of adhesive wear mechanism, at least during the early stages of the process pointed out the importance of :

- the factors that influenced adhesion in terms of material properties;
- the practical implication concerning the wear behavior of 410-416MX stainless steels for valve sealing materials.

The first group of questions are generally associated with surface properties of the sliding pairs, in the first place by the presence of oxide layer. Considering the results of this investigation, the second important factor is the mechanical behavior of the subsurface. Both of these factors are playing significant role in friction and wear processes, but the presence of oxide layer and its material

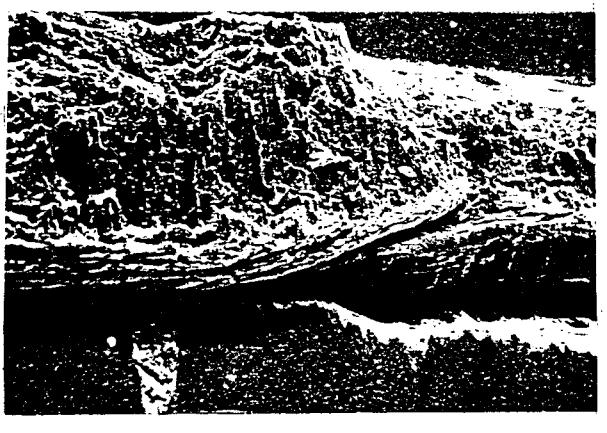


Figure 9. Scanning electron micrograph of worn wedge surface after 1 cycle. Combination soft-soft, x 120

Migrograf sa skenirajućeg elektronskog mikroskopa pohabane površine klina posle 1 ciklusa. Kombinacija tvrdo - meko; x 120

Микрофотографии изношенной поверхности шайонки после 1 цикла. Сочетание твёрдо-мягкое; x120

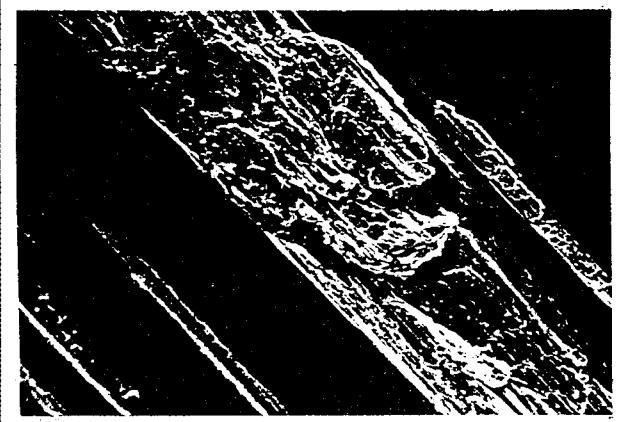


Figure 10. Scanning electron micrograph of worn wedge surface after 1 cycle. Combination soft-soft, x125

Migrograf sa skenirajućeg elektronskog mikroskopa pohabane površine klina posle 1 ciklusa. Kombinacija tvrdo - meko; x125

Микрофотографии изношенной поверхности шайонки после 1 цикла. Сочетание твёрдо-мягкое; x125

properties is controlling factor in development of adhesive junctions and adhesive wear. If it may be assumed that an oxide layer with the same properties was formed on both grades of stainless steel samples, the difference from combination to combination of the sliding pairs is given by the different heat treatment and consequently, by different mechanical properties of the subsurface. Then, it is believed that the properties of the subsurface expressed in this investigation in terms of bulk hardness, will control the breakage of the surface layer. When oxide layers on both surfaces are broken then metal-to-metal contact is established and cold-welded junctions may form. Breakage of the surface layer will occur more readily in the case where subsurface is softer and it can not support the oxide layer properly during the loading and sliding. As a result, it may be expected that metal-to-

metal contact and adhesive interaction are more likely to occur in soft-soft combination of stainless steels as it is demonstrated in this experiment (Fig. 9 and Fig. 11).

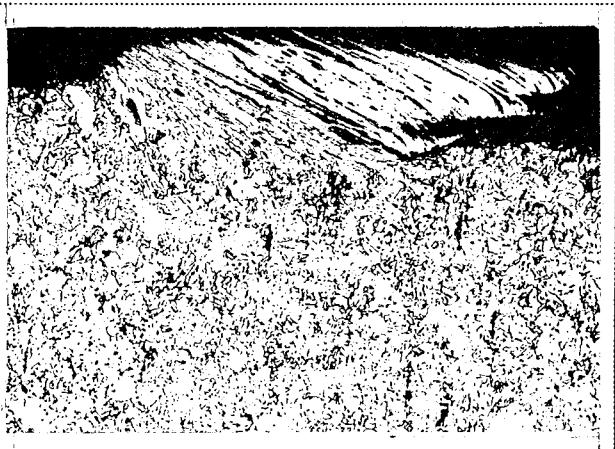
The foregoing discussion implicitly offers answers to the second group of questions that have practical implications. If it is presumed that the damage on the worn surfaces is mainly due to the adhesive wear, at least in the early stages of the process, then it may be concluded that hard-soft combination of stainless steels with considerable difference in hardness between the wedge and the seat, will give the lowest values of surface roughness. Consequently, with this combination of hardness of the stainless steels, the leakage in the valve is expected to be the lowest.



Figure 11. Cross section of wedge sample after 1 cycle. The particle stands on the surface is transferred material from the seat. Combination soft-soft, x 94; (a) non-etched, (b) etched with Viella's reagent

Poprečni presek uzorka klina posle 1 ciklusa. Držači čestica na površini je materijal prenet sa sedišta. Kombinacija tvrdo - meko, x 94; (a) nenagriženo, (b) nagriženo Viella reagensom

Поперечное сечение образца шайонки после 1 цикла. Частицы на поверхности несёти материал со седел. Сочетание твёрдо-мягкое; (а) навергаемое извлечению, (б) подвергаемое извлечению Viella реагентом



#### 4. CONCLUSIONS

1. The investigation has been intended to test wear of 410-416MX stainless steels for valve sealing materials under specific experimental conditions. The experimental device allows to perform dry wear testing on laboratory scale.
2. The difference in hardness between sliding pairs (410-416MX stainless steels) resulting from heat treatments, may be responsible for the difference in wear behavior and the degree of damage on the sliding surfaces.
3. Severe type of wear is observed for all listed combinations of hardness of 410-416MX specimens.
4. Severe type of wear is caused by the adhesive mechanism in the early stages of the process. The experimental evidence confirmed the adhesive interaction between the surfaces.
5. The extent of damage on the surfaces is expected to be the lowest in hard-soft combination of 410-416 MX stainless steels. This suggests less leakage in the valves using considerable difference in hardness between the sealing elements.

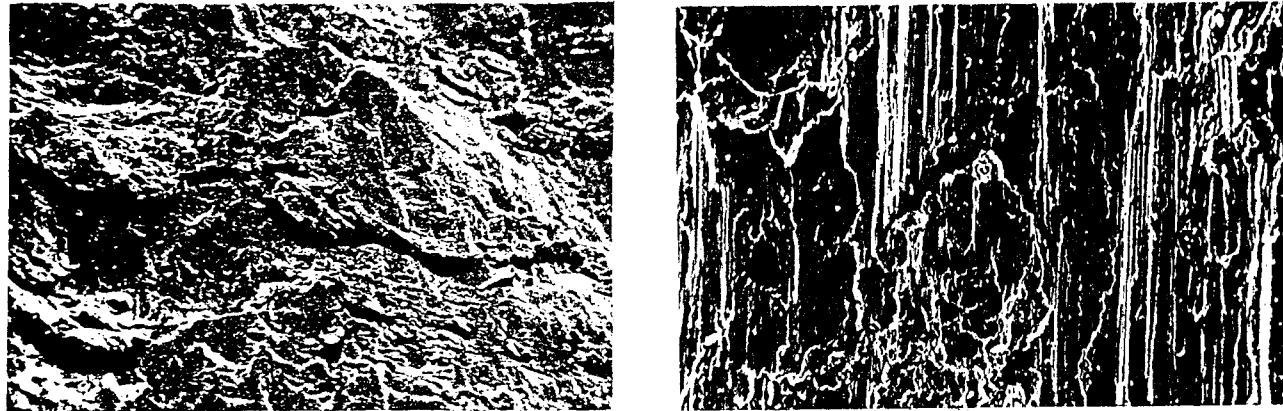


Figure 12. Scanning electron micrographs of worn wedge surface after 10 cycles. Combination soft-soft; (a) x 230, (b) x 250  
Migrograf sa skenirajućeg elektronskog mikroskopa pohabane površine klina posle 10 ciklusa. Kombinacija tvrdo - meko;  
(a) x 230, (b) x 250

Mišrografi iznošenijai površnosti štponki posle 10 ciklov, poobtchennye na elektronnom  
skenirujučem mikroskopie. Sочетание твёрдое-мягкое; (a) x230, (b)x250

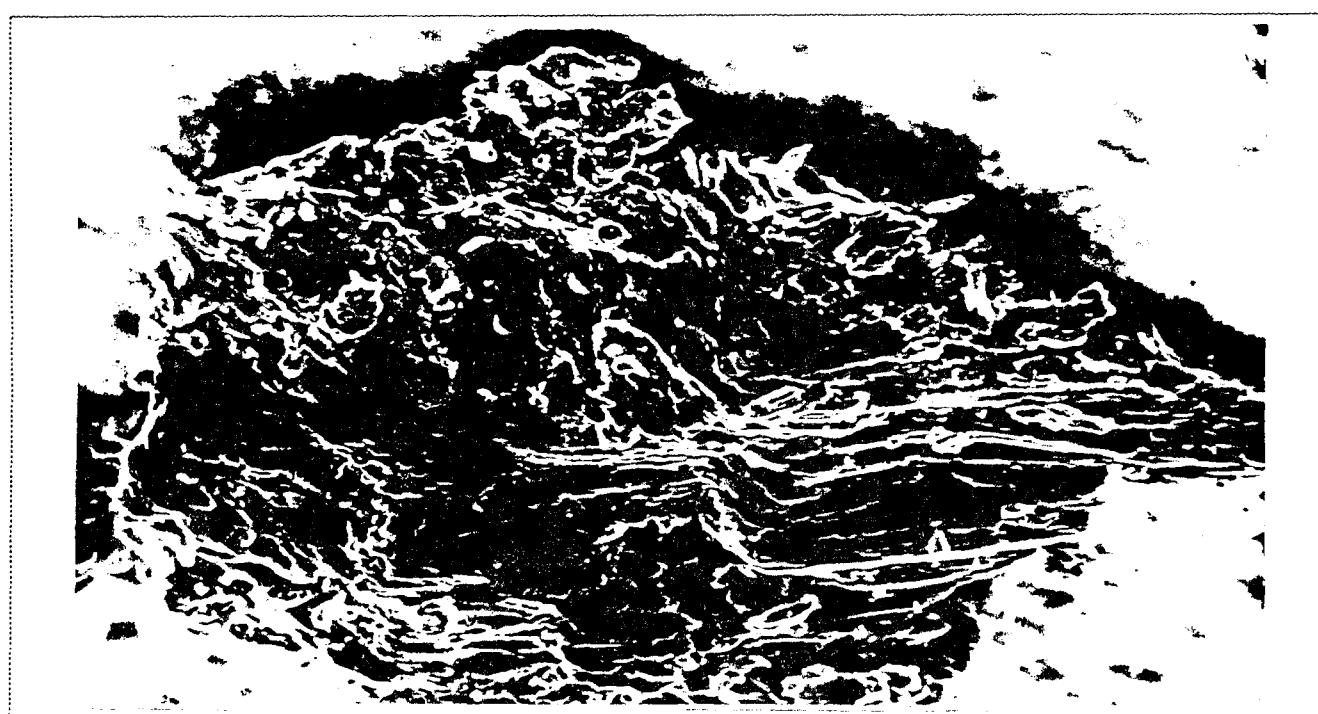


Figure 13. Scanning electron micrographs of wear particle recovered from the wear system after 20 cycles.  
Combination soft-soft, x 1170

Migrograf sa skenirajućeg elektronskog mikroskopa pohabanih čestica dobijenih iz sistema  
habanja posle 20 ciklusa. Kombinacija tvrdo - meko, x 1170

Mišrografi: iznošenijai čestici poobtchennyyi iz iznashivaocjey sistemy  
posle 20 ciklov. Сочетание твёрдое-мягкое; x1170,

## REFERENCES

- [ 1.] SCOTT, D., Editorial, Wear, Vol. 44, (1977).
- [ 2.] BURWELL, T. J., Survey of Possible Wear Mechanisms, Wear, Vol.1, (1957/58), 119.
- [ 3.] BOWDEN, F.P., TABOR,D., The Friction and Lubrication of Solids, Parts I,II, Oxford Clarendon Press, London, (1950,1964).
- [ 4.] SIKORSKI, M.E., Correlation of The Coefficient of Adhesion with Various Physical and Mechanical Properties of Metals, Journal of Basic Eng., Transactions, ASME, Vol. 85, No.2, (1963), 279.
- [ 5.] SIKORSKI, M.E., The Adhesion of Metals and Factors that Influence It, Wear, Vol. 7, (1964), 144.
- [ 6.] BUCKLEY, D., Surfaces Effects in Adhesion, Friction, Wear and Lubrication, Elsevier Scientific Pub. Co., Amsterdam, (1981), Russian Translation, Mashinostroenie, Moscow, (1986).
- [ 7.] HURRICKS, P. L., Some Metallurgical Factors Controlling The Adhesive and Abrasive Wear Resistance of Steels, Vol 26, (1973), 235.
- [ 8.] BARNES, D. J., WILSON, J. E., STOTT, F. H., WOOD, G. C., The Influence of Oxide Films on The Friction and Wear of Fe-5% Cr Alloy in Controlled Environment, Wear, Vol. 45, (1977), 161.
- [ 9.] CHICHOS, H., Trybology, Trybology Series 1, Elsevier Scientific Pub. Co. Amsterdam, (1978), 119.
- [10.] GLAESER, W. A., Wear Experiments in The Scanning Electron Microscope, Wear, Vol. 73, No. 2, (1981), 371.
- [11.] SUH, N.P., The Delamination Theory of Wear, Vol. 25, (1973), 111.

## Eksperimentalno proučavanje habanja nerđajućih čelika za zaptivne materijale ventila

Koristeći laboratorijski uređaj ispitivano je habawe nerđajućih čelika 410-416MH (AISI) u normalnim atmosferskim uslovima. Da bi se odredio uticaj tvrdoće na habawe, upotrebqene su tri različite kombinacije tvrdoća habajućih parova.

Eksperimentalni rezultati sugeriraju predominantno adhezivni tip habawa. U uspostavqawu adhezivnih spojeva, prisustvo oksidnog sloja i mehanička svojstva materijala imaju najvažniju ulogu. Diskutiran je uticaj razlike u tvrdoći materijala na uspostavqawe adhezivnog kontakta.

Adhezivno habawe u početnim stadijumuma procesa prouzrukuje jaka oštećewa na površinama habajućih parova za sve testirane kombinacije 410-416MH nerđajućih čelika. Mawe oštećewe, i sledstveno tome i boqa zaptivnost ventila, može se očekivati za kombinaciju parova nerđajućih čelika koji imaju značajnu razliku u tvrdoći.

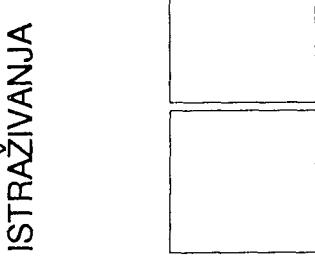
## Экспериментальное изучение изнашивания уплотнительных клапанов из нержавеющих сталей

В лабораторных условиях проведены испытания износостойкости нержавеющих сталей 410-416MH (AISI). С целью определения влияния твердости материала на процесс изнашивания испытывали три различных сочетания твердости изнашивающихся пар.

Полученные результаты показывают превосходство адгезионного типа изнашивания. При установлении адгезионного схватывания наличие окислильного слоя и механические свойства материала оказываю реальное воздействие.

Кроме того проведен анализ влияния разницы в твердости материала на восстановление адгезионного конакта. Адгезионное изнашивание в начальных стадиях процесса вызывает большие повреждения на конактирующих поверхности, у всех исследованных сочетаний 410-416MH нержавеющих сталей. Небольшое повреждение поверхности и следовательно лучшее улучшение клапанов можно ожидать при сочетании сталей с большой разницей в твердости.

*P. IVANOVIĆ, V. KALANOVIC, D. TRIFUNOVIĆ,  
P. DAŠIĆ*



# **Prilog istraživanju uticaja ulaznih promenjivih obradnog sistema na funkciju stanja hrapavosti obrađene površine kao važnog elementa za upravljanje tribološkim procesom**

## **1. UVOD**

Obradni procesi rezanjem pripadaju grupi vrlo složenih procesa sa velikim brojem koordinata stanja. Prostorni i vremenski tok ovih procesa, pored složenosti, karakteriše i stalno dejstvo poremećaja, kako spoljašnjih iz okruženja, tako i unutrašnjih iz okvira obradnog sistema, što uslojava nekontrolisanu promenu položaja optimuma procesa i ogromne teškoće upravljanja istim u prostoru i vremenu. Pri ovakvom stanju stvari skoro da je isključena praktična mogućnost za primenu bilo kojeg determinističkog metoda matematičkog opisivanja procesa, bez čega nije moguće njegovo vođenje u domene maksimalnih tehno-ekonomskih efekata.

Prethodno nameće potrebu traženja efikasnog metoda rešenja problema dopustivog širem krugu projektanata obradnih procesa.

U ovom radu se pokazuje jedan od mogućih načina efikasnog rešenja navedenog problema primenom novog, savremenog eksperimentalno-analitičkog metoda, zasnovanog na teoriji disperzije i regresione analize.

Radi se o moćnom aparatu za istraživanje obradnih sistema i procesa, naročito višedimenzionalnih (sa većim brojem varijabli), pri čemu se identifikuju mehanizmi i interakcije u okviru procesa i sistema.

Na sl. 1 je data opšta kibernetska šema obradnog sistema kao polazni osnov za primenu metoda.

## **2. KONCEPT METODA ANALIZE PROCESA**

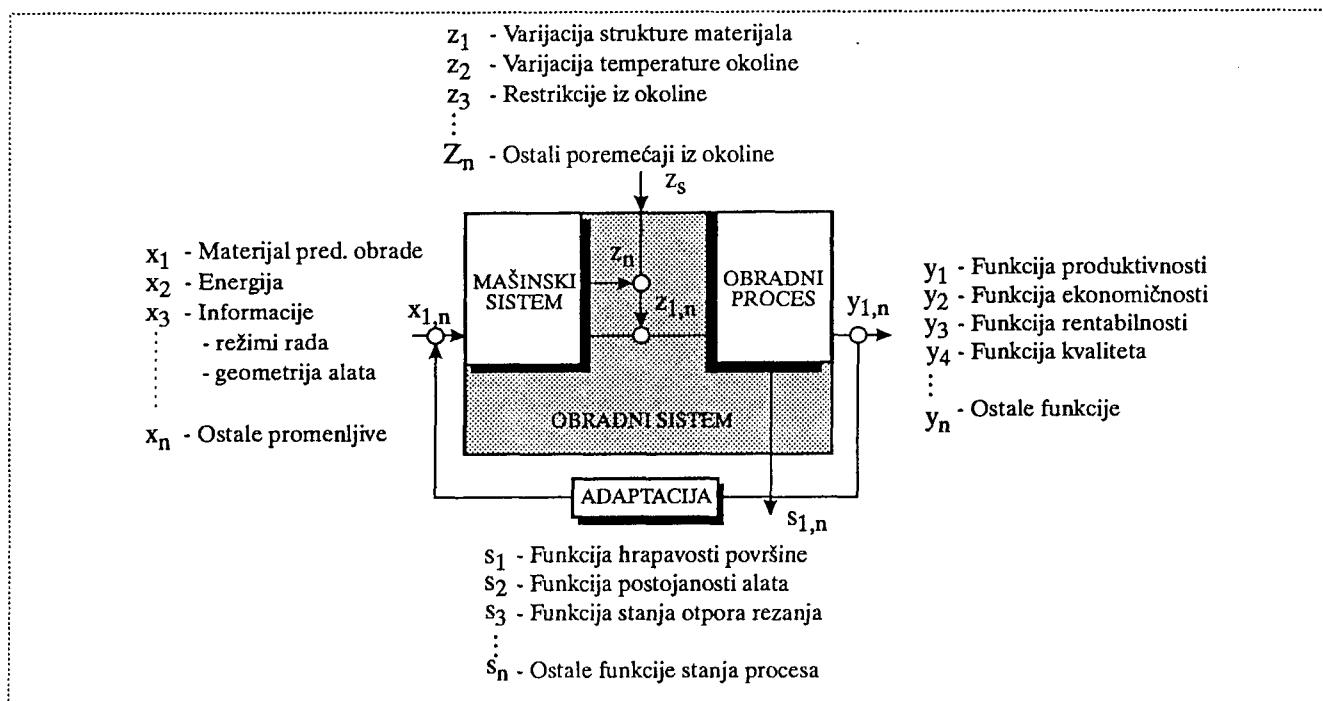
Analiza obradnog procesa je prva faza u kompletnoj proceduri primene analitičko-eksperimentalnog metoda opisa, modeliranja i upravljanja procesa. U ovoj fazi se osnovni zadatak sastoji u izboru: funkcije stanja procesa, koordinata vektora "ulaza" procesa, određivanju signifikantnosti (značajnosti) izabranih koordinata, jačine i ranga njihovog uticaja na izabranu funkciju stanja.

Procedura se sprovodi postupkom disperzije analize pri čemu se izabrani skup koordinata ulaza u proces ( $x_i$ ) selektira u dve grupe (jednu koja bitno utiče na proces i drugu čiji uticaj na proces nije bitan). Zatim se grupa značajnih faktora (koordinata ulaza) rangira po stepenu uticaja na proces.

Značaj selekcije i rangiranja ulaznih faktora je od izuzetno velike važnosti za dalje faze opisa i upravljanja proce-

---

*Mr Petar Ivanović, dipl. ing,  
Prof. mr Dragan Trifunović, dipl. ing,  
Prof. mr Verica Kalanović, dipl. ing,  
Pred. mr Predrag Dašić, dipl. ing, viši pred.  
Viša tehnička mašinska škola Trstenik*



som. Pri proučavanju procesa neophodno je u proces ispitivanja uključiti sve značajne ulazne faktore (varijable). Izostavljanje čak i jednog značajnog faktora može da izazove velike greške u identifikaciji i interpretaciji stanja ili ponašanja procesa. S obzirom da uglavnom ne postoje apriorne informacije o neznačajnosti nekog od faktora, ne smemo se, zbog pomenuih negativnih posledica, ni jedan isključiti iz procesa ispitivanja. Međutim, uvođenjem svih faktora u proces eksperimentalnih ispitivanja zalaže se u domen dugih i skupih ispitivanja. Stoga je potpuno jasan značaj njihove selekcije i rangiranja prema stepenu uticaja na proces.

### 3. EKSPERIMENTALNA VERIFIKACIJA METODA

Ovom prilikom je za funkciju stanja procesa izabrana funkcija hrapavosti obrađene površine ( $R_a$ ) kao značajan elemenat za upravljanje tribološkim karakteristikama procesa. Koordinate vektora "ulaza" ( $\bar{X}$ ) su odabранe sa ciljem da se istraži širi uticaj mogućih ulaza na odabranu funkciju stanja i to:

$$\bar{X}(V, S, d, R, \alpha, \gamma, \kappa, HB) \quad (1)$$

gde je: V - brzina rezanja

S - brzina pomoćnog kretanja (korak)

$\delta$  - dubina rezanja

P - radijus oštice alata (pločice)

$\alpha$  - leđni ugao reznog alata (pločice)

$\gamma$  - grudni ugao reznog alata (pločice)

$\kappa$  - napadni ugao rezanja

HB - tvrdoća materijala predmeta obrade

### 3.1. Obradni sistem

Mašina: CNC strug SL-3, "Mory S." - Japan

Alat: držać CSDPR2525M12 - "PP" Užice  
pločica SNMA120408 K1P - "PP" Užice

Predmet  
obrade: čaura 70/40 x 100 (mm),

Merni  
uređaji: Talysurf 5-M, "Taylor H." - Engleska

### 3.2. Kodiranje varijabli procesa

Analiza procesa u prirodnim koordinatama (1) je izuzetno teška, skoro nemoguća. Stoga se sve varijable kodiraju sa ( $x_i$ ) na tri nivoa (srednji: 0, gornji: +, donji: -). Srednji nivo se odabira prema preporukama u literaturi (tablice, katalozi) a gornji i donji nivoi se dobijaju varijacijom srednjeg nivoa za odgovarajući usvojeni procenat. Za slučaj u ovom radu rezultati sprovedenog su dani u tabeli 1.

### 3.3. Formiranje plan matrice procesa

Za slučaj analize procesa sa većim brojem varijabli (faktora) efikasna je primena procedure formiranja matrice procesa pomoću tzv. prezasićenih planova metodom slučajnog balansa 1.

Skup od (k) faktora (u ovom slučaju k=8) se deli u određeni broj grupa (najčešće 4 do 6 faktora u grupi). Zatim se za svaku grupu definije odgovarajući potpuni ili parcijalni plan. U ovom slučaju faktori procesa su podeljeni u dve grupe ( $x_1, x_2, x_3, x_4$ ) i ( $x_5, x_6, x_7, x_8$ ). Za svaku od grupa je uzeta polureplika tipa  $2^{4-1}$  i formirana

plan matrica procesa sa brojem eksperimentalnih tačaka  
 $N=2^{k-1}+n_M=2^{4-1}+3=8+3=11$ .

gde je: k - broj faktora u jednoj grupi  
 $n_M$  - broj eksperimentalnih tačaka mešanja polureplika plana

Dobijena matrica je data u okviru tabele (T-1) i ista obezbeđuje:

- optimalni raspored mernih tačaka
- minimalni broj mernih tačaka
- maksimum informacija o procesu
- minimalnu disperziju rezultata merenja
- efikasnu analizu procesa

### 3.4. izvođenje eksperimenta

Na osnovu formirane plan matrice (tabela 1) izvodi se svaki od  $N=11$  eksperimenta i mere veličine funkcija stanja hrapavosti obrađene površine ( $R_a$ ). Redosled izvođenja eksperimenta je randomiziran u vremenu prema tablici slučajnih brojeva.

### 3.5. Ocena disperzije rezultata

Ocena disperzije rezultata merenja vrši se prema medijani ( $Me$ ) kao parametru koji najbolje reprezentuje centar rasturanja mernih tačaka procesa. Pri tome se utvrđuju razlike medijana ( $\Delta Me$ ) za oba nivoa svake varijable procesa ( $x_i$ ) (tabela 2).

Tabela 2.

Varijable procesa ( $x_i$ )	Funkcija stanja $R_a$	
	Medijana (Me)	Razl. med. ( $\Delta Me$ )
$x_1$	10.79 23.71	-12.92
$x_2$	24.27 9.35	+14.92
$x_3$	11.26 17.01	-5.75
$x_4$	17.32 10.79	+6.53
$x_5$	17.23 11.26	+5.97
$x_6$	20.70 9.79	+10.91
$x_7$	17.32 10.05	+7.27
$x_8$	10.32 14.29	-3.97

### 3.6. Jačina dejstva "ulaza" na proces

Procedura utvrđivanja jačine dejstva "ulaza" na proces se izvodi postupkom disperzione analize kroz nekoliko uzastopnih ciklusa reda veličine najviše do broja ulaznih varijabli procesa.

Tabela 1.

	Ulazni eksperimentalni hiper prostor									Hiper prostor stanja procesa		
	V (m/min)	S (mm/o)	$\delta$ (mm)	R (mm)	$\alpha$ (°)	$\gamma$ (°)	K (°)	Tvrdoća (HB)				
	Gornji (+)	138	0.60	5	1.2	13	7	52	230			
	Srednji (0)	120	0.50	4	0.8	11	6	45	210	Prirodna vrednost funkcije $R_a(\mu\text{m})$		
	Donji (-)	102	0.40	3	0.4	9	5	38	180	Izmjerena vrednost	Korigovane vrednosti	
Red. br. eksper.	Kodir. Red. pr. eksper.	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$	$x_8$	$R_a$	$R_{a(k)}$	
1	1, 10	+1	+1	+1	+1	-1	+1	+1	-1	17.32	5.69	10.83
2	7, 12	+1	-1	-1	+1	-1	-1	+1	-1	8.92	14.39	19.53
3	6, 4	-1	+1	-1	+1	-1	-1	+1	+1	23.71	5.49	14.99
4	14, 5	-1	+1	-1	-1	+1	+1	-1	+1	25.42	8.32	12.08
5	11, 13	+1	-1	+1	-1	+1	+1	-1	-1	9.79	16.38	15.78
6	13, 11	+1	+1	-1	-1	+1	-1	+1	-1	24.67	11.92	11.32
7	4, 7	-1	-1	+1	+1	+1	-1	-1	+1	5.80	5.80	14.70
8	16, 6	-1	-1	-1	-1	-1	+1	-1	+1	4.81	4.81	9.17
9	11, 12	+1	-1	+1	-1	-1	-1	+1	-1	11.26	16.73	16.73
10	2, 13	-1	+1	+1	+1	-1	+1	-1	-1	24.27	7.17	12.31
11	15, 6	+1	-1	-1	-1	-1	+1	-1	+1	10.32	16.91	21.27

### I Ciklus:

Iz tabele 2, prema veličini ( $\Delta Me$ ) se vidi da dominiraju uticaji farijabli ( $x_2, x_1, x_6$ ) pa se za iste u ovom ciklusu utvrđuje jačina dejstva ( $B_i$ ) na proces. Pri ovome se formira tabela 3.

Tabela 3.

Faktori ( $x_i$ )	$+(x_2)$	$-(x_2)$
$+(x_1)$	17.32	8.92
	<u>24.67</u>	9.79
	$\Sigma y_j = 41.99$	11.26
	$y_1 = 20.99$	<u>10.32</u>
$-(x_1)$	23.71	5.80
	25.42	4.81
	<u>24.27</u>	<u>10.61</u>
	$\Sigma y_j = 73.40$	$\Sigma y_j = 10.61$
$+(x_6)$	17.32	9.79
	25.42	4.81
	<u>24.27</u>	<u>10.32</u>
	$\Sigma y_j = 67.01$	$\Sigma y_j = 24.92$
$-(x_6)$	23.71	8.92
	<u>24.67</u>	5.80
	$\Sigma y_j = 48.38$	<u>11.26</u>
	$y_7 = 24.19$	$\Sigma y_j = 25.98$
		$y_8 = 8.66$

Jačina dejstva varijabli ( $x_2, x_1, x_6$ ) na proces se izračunava prema:

$$B_1 = \frac{\bar{y}_1 + \bar{y}_2}{2} - \frac{\bar{y}_3 + \bar{y}_4}{2} = \frac{20.99 + 10.07}{2} - \frac{36.70 + 5.30}{2} = -5.47$$

$$B_2 = \frac{\bar{y}_1 + \bar{y}_3 + \bar{y}_5 + \bar{y}_7}{4} - \frac{\bar{y}_2 + \bar{y}_4 + \bar{y}_6 + \bar{y}_8}{4} = 18.22$$

$$B_6 = \frac{\bar{y}_5 + \bar{y}_6}{2} - \frac{\bar{y}_7 + \bar{y}_8}{2} = -1.12$$

### II Ciklus:

U ovom ciklusu se nastavlja ispitivanje jačine ostalih varijabli na proces. Prethodno je neophodno izvršiti korekciju izmerenih vrednosti za ( $R_a$ ) iz tabele 1, na taj način što se vrednostima ( $R_a$ ) na nivou ( $+x_1$ ), ( $+x_2$ ), ( $+x_6$ ) dodaje vrednost izračunate jačine dejstva ( $B_i$ ) sa suprotnim znakom. Rezultat korekcije je dat u odgovarajućoj korigovanoj koloni tablice (T-1). Formiraju se tabele 4 i 5 po postupku za formiranje prethodnih tabela.

Tabela 4.

Varijable procesa ( $x_i$ )	Funkcija stanja $R_a$	
	Medijana ( $Me$ )	Razl. med. ( $\Delta Me$ )
$x_3$	7.17 10.12	-2.95
$x_4$	5.80 14.15	-8.35
$x_5$	14.15 7.17	+6.98
$x_7$	11.92 7.74	+4.18
$x_8$	5.80 13.15	-7.35

Prema tabeli 4 dominiraju varijable ( $x_4, x_8, x_5$ ) pa se nastavlja ispitivanje njihovog uticaja na proces.

Jačine dejstva varijabli ( $x_4, x_8, x_5$ ) na proces iznose:  
 $B_4 = -4.36$

$$B_5 = +0.60$$

$$B_8 = -4.36$$

### III Ciklus:

U ovom ciklusu se konačno, ispitivanjem jačine dejstva preostalih varijabli procesa ( $x_3, x_7$ ), završava procedura metoda. Prethodno se vrši korekcija rezultata vrednosti funkcije ( $R_a$ ) po već pokazanom postupku. Procedura ovog ciklusa daje rezultat jačine dejstva varijabli ( $x_3, x_7$ ) na proces i to:

$$B_3 = +0.74$$

$$B_7 = +1.45$$

Konačno se može izračunati procentualno učešće jačine dejstva svih varijabli ( $x_i$ ) na proces:

$$\frac{|B_i|}{\sum |B_i|}, \sum |B_i| = 37.1 \text{ pa sledi:}$$

$$\frac{|B_1|}{\sum |B_i|} = 14.8\%; \quad \frac{|B_2|}{\sum |B_i|} = 49.1\%;$$

$$\frac{|B_3|}{\sum |B_i|} = 1.9\%; \quad \frac{|B_4|}{\sum |B_i|} = 13.8\%;$$

$$\frac{|B_5|}{\sum |B_i|} = 1.6\%; \quad \frac{|B_6|}{\sum |B_i|} = 3.0\%;$$

$$\frac{|B_7|}{\sum |B_i|} = 4.0\%; \quad \frac{|B_8|}{\sum |B_i|} = 11.8\%$$

Tabela 5.

Faktori ( $x_i$ )	$+(x_8)$	$-(x_8)$
$+(x_4)$	5.49	5.69
	5.80	14.39 7.17
$-(x_4)$	8.32	16.38
	4.81	11.92 16.73
$+(x_5)$	16.91	$\Sigma y_j=27.25$
	$\Sigma y_j=30.00$	$y_1=5.64$ $y_2=9.08$
$-(x_5)$	5.49	16.38
	4.81	11.92 16.73 7.17
	16.91	$\Sigma y_j=45.00$
	$\Sigma y_j=28.30$	$y_3=10.00$ $y_4=15.00$
	5.80	$\Sigma y_j=14.12$
	$y_5=7.06$	$y_6=14.15$
	8.32	5.69
		14.39
		11.92
		16.73
		$\Sigma y_j=27.21$
		$y_7=9.07$ $y_8=11.00$

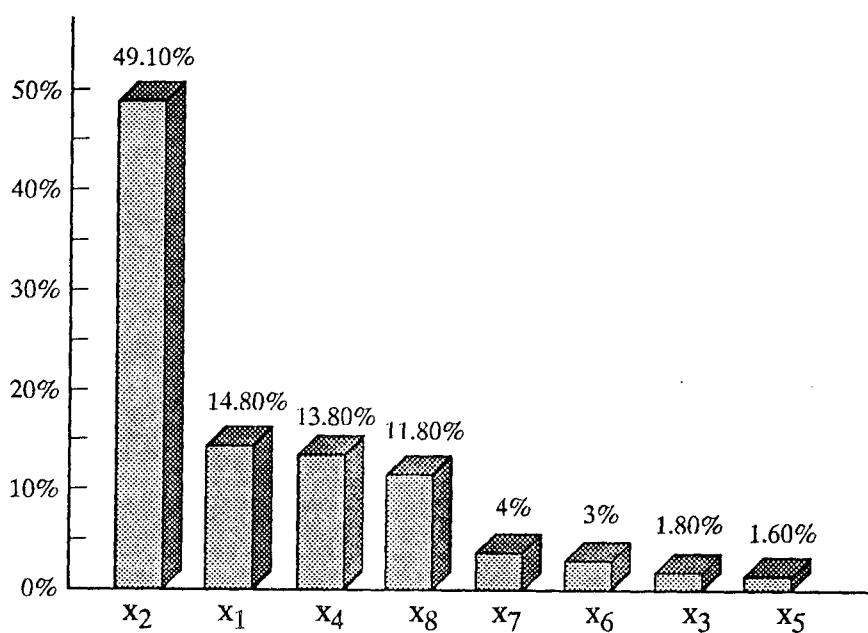
Jačina dejstva varijabli ( $x_i$ ) i njihov rang uticaja na proces su dati na slici 2.

Rezultati sprovedene selekcije varijabli procesa ( $x_i$ ) pokazuju da daleko najjači uticaj na funkciju stanja ( $R_a$ ) ima brzina pomoćnog kretanja ( $S$ ), da blaži uticaj na proces imaju: brzina rezanja ( $V$ ), tvrdoća materijala ( $HB$ ), napadni ugao ( $\kappa$ ) i grudni ugao reznog alata ( $\gamma$ ), a da najmanji uticaj nuproces imaju dubina rezanja ( $\delta$ ) i leđni ugao ( $\alpha$ ).

Interesantan je rang uticaja tvrdoće ( $HB$ ) obrađivanog materijala kao koordinate vektora "ulaza" na funkciju stanja hrapavosti obrađene površine ( $R_a$ ). Rezultat ovakvog uticaja je razumljiv ako se razmatra struktura obrađivanog materijala (SL26) koja je binarna ili tačnije pseudo binarna legura perlitnog gvožđa i lamelarnog grafita. Udeo grafita na površini dodira materijala i reznog alata i njegova pravilnost raspodele određuju izgled novonastale površine. Veći sadržaj grafita dovodi do većeg "odnošenja" mehanih ljsupica grafita reznom ivicom noža i do pojave veće hrapavosti.

Dobijeni rezultati čine osnovu da se mogu sprovoditi naredne faze proučavanja obradnog procesa (matematičko modeliranje, optimizacija). Ako bi se ovim fazama želela potpuna sigurnost dobijenih rezultata, onda bi u iste trebalo uključiti sve prethodno ispitivane varijable ( $x_i$ ) tj:  $R_a=R_a(V, S, \kappa, R, \alpha, \gamma, \kappa, HB)$ .

Za još veću sigurnost proučavanja procesa preporučuje se analiza i selekcija parnih efekata združenog dejstva navedenih varijabli ( $x_i, x_j$ ). Međutim za slučaj da se procedura želi znatno skratiti redovno se primenjuje utvrđivanje praga signifikantnosti izračunatih jačina dejstava varijabli ( $B_{ij}$ ). To se čini za usvojeni nivo rizika koji najčešće iznosi (1% - 10%) a procedura sprovodi preko kriterija Studenta ili Fišera. Rezultat takvog postupka se ogleda u efikasnijoj i bržoj proceduri matematičkog modeliranja i optimizacije procesa, jer se varijable sa najslabijim uticajem na proces isključuju iz dalje procedure. Time se čini određeni rizik, ali se dobijaju sasvim pouzdani rezultati proučavanja procesa.



Sl. 2. Rang uticaja i jačine dejstva varijabli na funkciju stanja obradnog procesa.

Influence rank and intensity of variables effect on machining process state function

Ранг воздействия и усилия переменной на состояние процесса обработки

## 4. ZAKLJUČAK

Na osnovu dobijenih rezultata primene pokazane metode analize i proučavanja obradnog procesa mogu se postaviti sledeći važniji zaključci:

- ▶ Ovom prilikom za analizu i proučavanje procesa primjenjen je savremeni eksperimentalno - analitički metod, varijanta prezasićenih planova slučajnog balansa, kao najefikasnijeg za slučaj kada se utvrđuju samo jačina i rang dejstva ulaznih varijabli na proces.
- ▶ Izvršena analiza uticaja varijabli ( $x_i$ ) i rang njihovog dejstva na izabrano funkciju stanja procesa ( $R_a$ ) omogućuje uvid u unutrašnju strukturu i zakonitosti unutar procesa, što ima izuzetno visok značaj za dalje, naredne faze, proučavanja procesa.
- ▶ Rang uticaja i jačina dejstva svih ulaznih varijabli procesa stvara podlogu da se opredeli optimalna varijanta dalje analize i proučavanja procesa (matematičko modeliranje, istraživanje topografije modelirane hiper površi odabrane funkcije procesa, upravljanje procesom).

▶ Primjenjen metod nesumljivo pokazuje velike prednosti u poređenju sa drugim čisto analitičkim metodama koje skoro i nije moguće praktično primeniti kod proučavanja procesa sa velikim brojem ulaznih varijabli. Pokazani metod naročito dobija na efikasnosti sa daljim povećanjem broja varijabli procesa a primenjiv je u neograničenom opsegu izučavanja procesa, objekata i sistema raznih delatnosti.

## LITERATURA:

- [1.] STANIĆ J., Metod inženjerskih merenja, Mašinski fakultet Beograd, 1990.
- [2.] IVKOVIĆ B., Teorija rezanja, Nauka i tehnologija, Kragujevac, 1991.
- [3.] STANIĆ J., Uvod u teoriju tehnoekonomске optimizacije, Mašinski fakultet, Beograd, 1988.
- [4.] IVANOVIĆ P., Metod analize i matematičkog modeliranja procesa, Projekat, Mašinski fakultet Kragujevac, 1985.

## Contribution to Investigation of Influence of Machining System Input Variables on Machined Surface Roughness State Function as an Important Element for Tribological Process Control

*Quality of the machined surface is of the primary significance for exploitation of the product (work piece), because it is related to its tribological behavior in working conditions. For that reason it is of great importance to know the topography of the machined surface as a function of the process input variables, especially when their number is largely extended.*

*In this paper are presented results of investigations of larger number of input variables (totally eight) influence on the machined surface roughness state function. The basic aim lies in the fact that it is necessary to investigate the influence of significantly larger number of variables that affect the process, than it is usual, in order to from the basis for more exact investigation of the process.*

*For the process analysis and investigation of the mentioned influence was applied the experimentally - analytical model of multi-factor selection plans, with application of the dispersion and regression analyses, as a basis for more efficient study and control of the process.*

## К исследованию влияния входных переменных обрабатывающей системы на шероховатость обработанной поверхности как важного фактора управления трибологическими процессами

*Качество обработанной поверхности оказывает существенное влияние на эксплуатационные свойства изделия, поскольку оно связано с трибологическим поведением изделия в рабочих условиях. Вследствие этого очень важно знать топографию обработанной поверхности в функции входных переменных процесса, особенно при значительном увеличении их числа.*

*В настоящей работе показаны результаты исследований влияния восьми входных переменных на шероховатость обработанной поверхности, проводимых с целью определения воздействия повышенного количества переменных на процесс обработки.*

*При исследовании использовались опыто-аналитическим методом многофакторных селективных планов и теорией дисперсионного и регрессионного анализов, представляющими основу эффективного изучения и управления процессом.*