

# **tribologija u industriji**

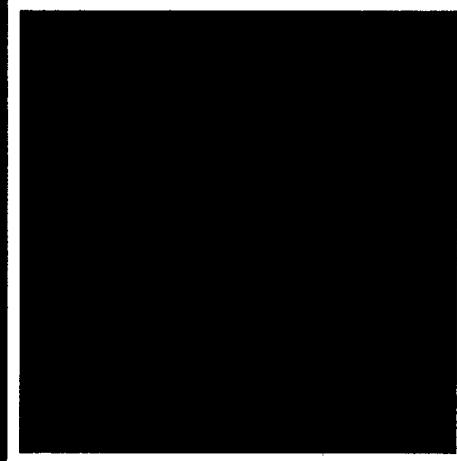
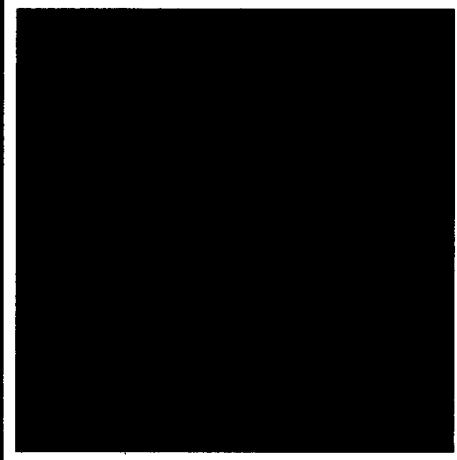
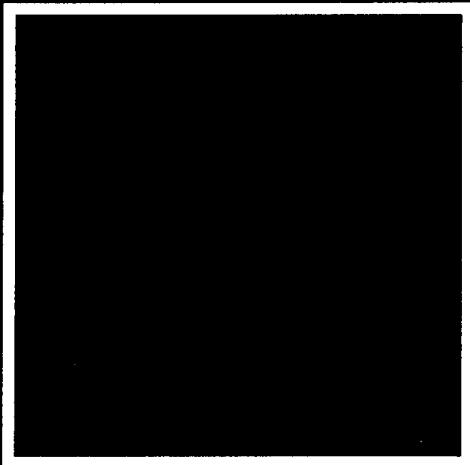
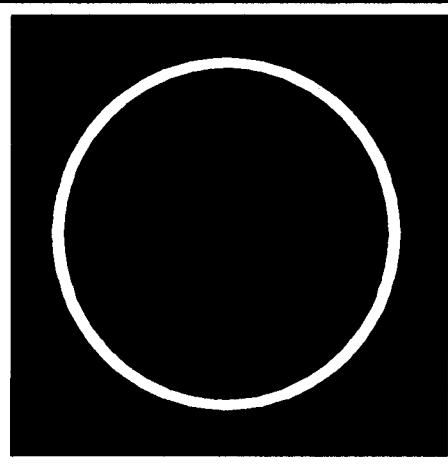
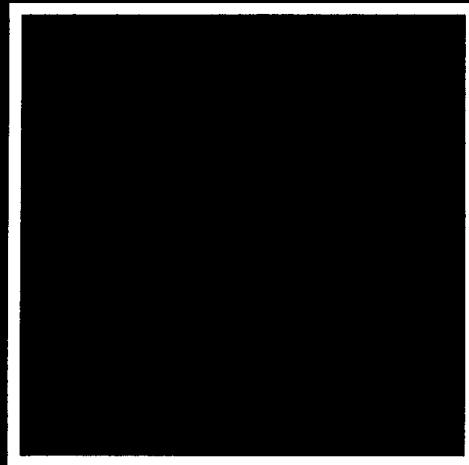
**tribology in industry ◇ трибология в промышленности**

YU ISSN 03551 - 1642

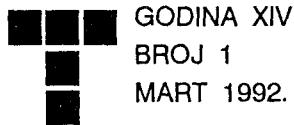
GODINA XIV

MART 1992

**1**



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 ПЕРЕДОВИЦА	Tribologija u industriji ◊- Tribology in industry ◊- Трибология в промышленности . . . . .	3
ISTRAŽIVANJA RESEARCH ИССЛЕДОВАНИЯ	A. S. VEREŠČAKA, R. JEČMENICA, V. V. KUZIN, P. DAŠIĆ: Problemi izrade i usavršavanja alata od brzoreznog čelika sa antihabajućim prevlakama ◊ Problems in Machining and Improving Tools of High Speed Steel with Antiwear Coating ◊ Проблемы создания и совершенствования инструмента из быстрорежущей стали с износостойким покрытием . . . . .	5
	A. MIŠKOVIĆ, M. MASLAĆ: Neke od mogućnosti konturne obrade kompozitnih materijala ◊ Some Possibilities of Composite Materials Contour Processing ◊ Некоторые из возможностей контурной обработки композиционных материалов . . . . .	17
	S. SEKULIĆ: Vrednovanje reznih alata zasnovano na verovatnosnom principu ◊ Evaluation of Cutting Tools Based on Probaility Aproach ◊ Оценка режущего инструмента основана на вероятностном подходе . . . . .	24
ZA NEPOSREDNU PRAKSU FOR DIRECT PRACTICE ДЛЯ НЕПОСРЕДСТВЕННОЮ ПРАКТИКУ	B. IVKOVIĆ, D. KAROVIĆ: TIS - Informacije: Odvalna glodala sa i bez TiN prevlaka . . . . .	25
NOVOSTI NEWS ИЗВЕСТИЯ	Izložba AUTOMAN i INSPEX'91 . . . . .	28
TRIBOLOŠKI REČNIK GLOSSARY OF TRIBOLOGY TERMS СЛОВАРЬ ПО ТРИБОЛОГИИ	. . . . .	29
KNJIGE I ČASOPISI BOOKS AND JOURNALS КНИГИ И ЖУРНАЛЫ	. . . . .	30
NAUČNI SKUPOVI SCIENTIFIC MEETINGS НАУЧНЫЕ СОБРАНИЯ	. . . . .	32

# Tribologija u industriji

**Tribology in Industry ◇ Трибологија в промышленности**

Posle tri godine izdavanja Saopštenja Laboratorije za obradu metala i tribologiju Mašinskog fakulteta u Kragujevcu (1974 - 1977) i trinaest godina izdavanja časopisa "Tribologija u industriji" na srpskohrvatskom jeziku (1978. - 1991.), pokušaćemo da u 1992. godini časopisu damo, u izvesnoj mjeri, internacionalni karakter da bi i čitaoci u drugim zemljama sa kojima razmenjujemo našu publikaciju (oko 35 zemalja sa skoro svih kontinenata) imali bolji uvid, pre svega, o rezultatima triboloških istraživanja domaćih istraživača.

Već od prvog ovogodišnjeg broja redakciju čine, pored domaćih naučnih radnika i grupa eminentnih tribologa, iz više industrijski razvijenih zemalja, čiji je doprinos razvoju naučne misli iz ove oblasti veoma veliki. Internationalizacijom i sastavom redakcije želimo da budućim autorima radova ukažemo i na povećanje kriterijuma za ocenu i prihvatanje radova za štampu, kao i na potrebu da rezultati istraživanja koji se predlažu za publikovanje u časopisu moraju imati i neophodan minimum internacionalne vrednosti.

Najveći broj radova u časopisu i dalje će biti objavljivan na srpskohrvatskom jeziku, ali će se, mnogo više

nego ranije, publikovati i radovi na engleskom i ruskom jeziku koji su nastali ili u okviru saradnje domaćih i stranih naučnih radnika, kroz realizaciju programa međunarodne naučno-tehničke saradnje, ili su rezultat rada stranih naučnih radnika koji su posebno interesantni i za domaću naučnu i stručnu javnost.

Radovi publikovani na srpskohrvatskom jeziku imajuće na kraju teksta izvode na engleskom i ruskom jeziku u obimu dovoljnim za razumevanje osnovnih poruka rada i izloženih rezultata istraživanja. Tekstovi ispod slika štampaju se obavezno na sva tri jezika što, takođe, treba da olakša razumevanje rada i onih čitalaca koji ne poznaju srpskohrvatski jezik. Radovi koji se budu štampali na engleskom ili ruskom jeziku imajuće uvek dovoljno obiman izvod na srpskohrvatskom jeziku i engleskom ili ruskom jeziku u zavisnosti od toga kojim je stranim jezikom rad štampan u celini.

Novi sadržaj, u ovoj i narednim godinama, dobija i rubrika "Za neposrednu praksu". Jedan od izlaza iz Tribološkog informacionog sistema (TIS), koji se poslednjih godina razvija na Mašinskom fakultetu u Kragujevcu, su i TIS-informacije. U prošloj godini pokušano je sa štampanjem

ovih informacija kao posebne publikacije koja izlazi svakog meseca. Međutim, i pored više pokušaja ova publikacija nije uspela da opstane kao samostalna, verovatno zbog ukupne situacije u kojoj se kao zemlja nalazimo. Publikovanjem TIS-informacija u okviru časopisa "Tribologija u industriji" u rubrici koja je namenjena neposrednom korišćenju u praksi, doprineće, nadamo se, povećanom korišćenju časopisa u celini i stvaranju navike za korišćenje Tribološkog informacionog sistema. Tribološki informacioni sistem, u prvoj fazi negovog razvoja, ima razvijene tri grupe baza podataka i to:

- baze podataka iz oblasti tribologije obradnih procesa,
- baze podataka o tribologiji mašinskih elemenata i
- baze podataka o objavljenim radovima i knjigama iz oblasti tribologije.

Korišćenje ovih baza podataka i kroz TIS-informacije treba da doprinese povećanju veka trajanja proizvodne i druge opreme u industriji i transportu, smanjenju troškova proizvodnje i povećanju pouzdanosti poizvodnih i drugih procesa.

Časopis "Tribologija u industriji" zadraže i u narednom periodu svoje već

standardne rubrike u kojima se daju izabrane novosti iz sveta tribologije, pregled novih knjiga iz ove sve popularnije naučne oblasti, pregled objavljenih radova u nekoliko poznatih internacionalnih časopisa i neophodne informacije o predstojećim naučnim i stručnim konferencijama sa pozivima za učešće sa radom ili bez

njega. Sadržaj ovih rubrika biće štampan samo na srpskohrvatskom jeziku.

Potreba za preciznijim određivanjem značenja pojedinih termina koji se koriste u tribologiji sve se više oseća i u naučnim i u stručnim krugovima. Predlozi odrednica za pojedine tribološke termine publikovaće se i dalje sve do pojave Tribološkog rečnika čija je priprema u toku. Saradnja ko-

risnika časopisa "Tribologija u industriji" na definisanju triboloških termina je neophodna zbog čega se u ovoj rubrici i štampaju samo predlozi odrednica grupe termina. Redakcija očekuje primedbe na predložene odrednice kao i njihove moguće drugačije formulacije.

- ◊ -

*Journal "Tribology in Industry" has been published in Serbocroat for 13 years (1978. - 1991.) in the edition of Faculty of Mechanical Engineering in Kragujevac. The editorial board is formed of famous scientists from majority of Yugoslav University centres. Abstracts of published papers in English and Russian are at the end of the journal.*

*In 1992. we shall try to give our journal an international character, so that it can be read in other countries we exchange it with (35 countries all over the world). This year editorial board is formed of a group of eminent tribologists from industrial countries and Yugoslav University centres.*

*The papers will be published in Serbocroat, Russian and English. The paper published in one language will be followed by detailed extracts in other two languages, and will be sufficient for comprehension of given research results.*

- ◊ -

**Журнал Трибология в промышленности публикуется на сербохорватском языке уже тринадцать лет (с 1978. - 1981. г.) в издании Машиностроительного факультета в городе Крагуевац. Членами редакционной коллекции были известные ученые, работающие в многих югославских университетах. Резюме опубликованных работ, на английском и русском языках, печатались в конце журнала. В 1992. году попытаемся дать журналу, в определенной мере, международный характер, как бы облегчить его использование в странах с которыми наш факультет обменяется научными публикациями. Редакционную коллегию в этом году составляет группа известных специалистов по трибологии из высокоразвитых стран и югославских университетов.**

**Статьи будут печататься на сербохорватском, русском и английском языках. В работах, опубликованных на одном из трех языков, будут печататься подробные выводы на других двух языках, чтобы читателям представить результаты изложенных исследований.**

**A. С. ВЕРЕЩАКА, Р. М. ЕЧМЕНИЦА,  
В. В. КУЗИН, П. ДАШИЧ**

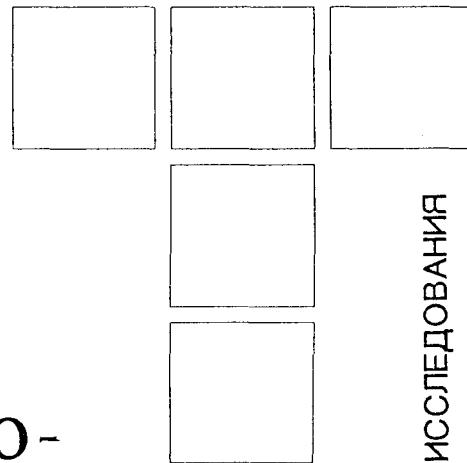
# Проблемы создания и совершенствования инструмента из быстро- режущей стали с износо- стойким покрытием

Современная автоматизированная металлообрабатывающая промышленность все в большей степени использует гибкие производственные системы (ГПС). Надежность функционирования таких систем сильно зависит от надежности и работоспособности инструмента из быстрорежущей стали, составляющего до 60 - 65% инструмента применяемого для этих целей. Кроме того для ГПС характерен повышенный расход инструмента, составляющего до 10 - 15% общих расходов на механообработку. Это обусловлено резким повышением стоимости станкоминуты при использовании ГПС, снижением периода стойкости режущего инструмента до 5 - 12 мин. по сравнению с соответствующими показателями для универсального станочного оборудования. Таким образом, надежность функционирования инструмента из быстрорежущей стали является важным резервом повышения эффективности автоматизированной механообработки и ГПС.

Среди методов повышения надежности и работоспособности инструмента из быстрорежущей стали наиболее эффективными являются методы нанесения износостойких покрытий. С учетом относительно низкой теплостойкости быстрорежущих сталей, составляющей 550 - 650°C, для нанесения износостойких покрытий на быстрорежущий инструмент используют физические методы (PVD), среди которых наибольшее применение в мировой практике нашли методы вакуумно-дугового испарения (ARC PVD PROSESS) и магнетронно-ионного распыления (МИР).

---

Проф. др А. С. Верещака, СТАНКИН, Москва, СССР  
 Проф. др Р. М. Ечменица, дипл. инг.,  
 Технический факультет, Чачак  
 В. В. Кузин, СТАНКИН, Москва, СССР  
 П. Дашиб, дипл. инг., ВТШ, Трстеник



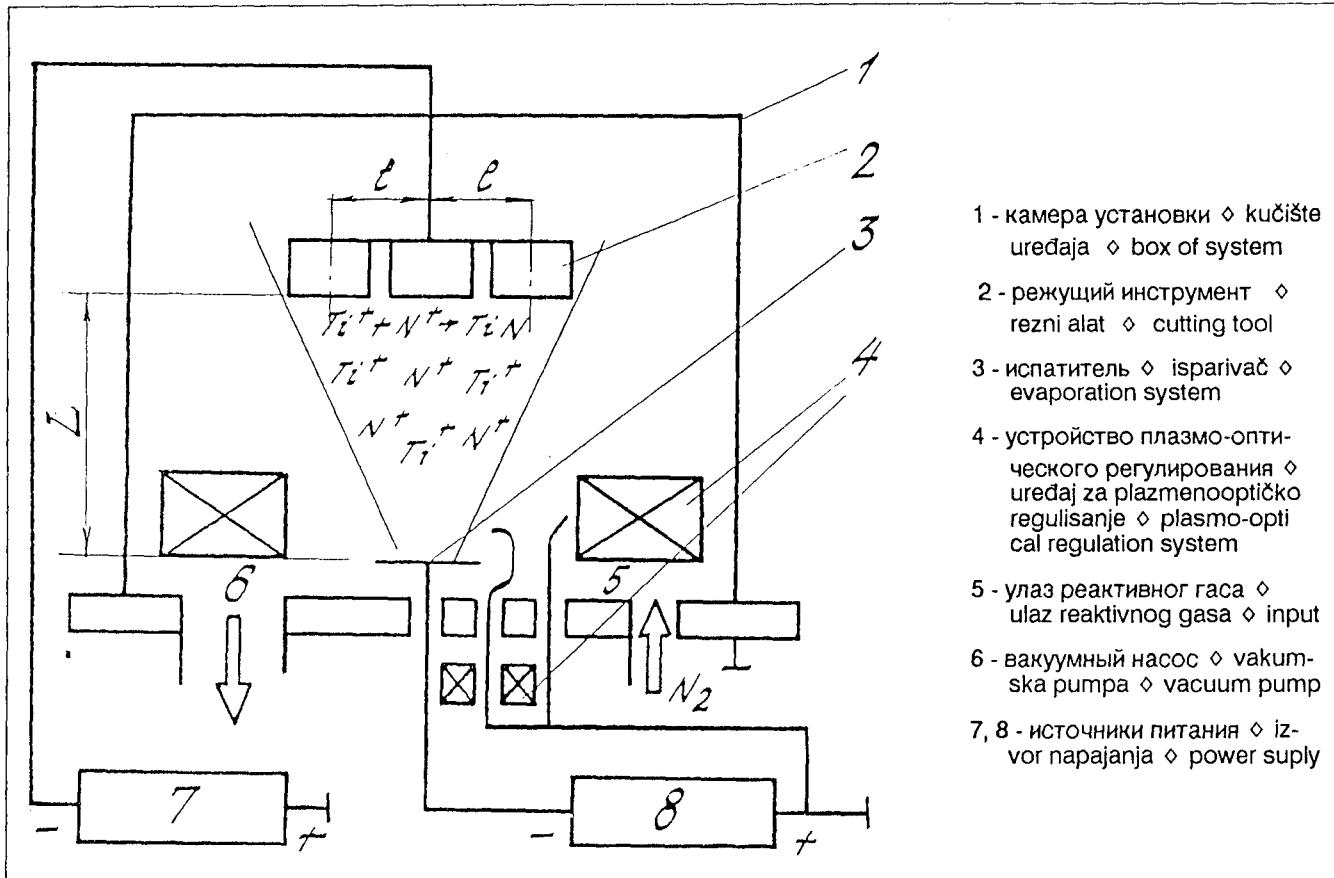
ИССЛЕДОВАНИЯ

В СССР разработан метод нанесения износостойких покрытий на основе принципа вакуумно-дугового испарения, названный методом конденсации вещества в вакууме с ионной бомбардировкой (метод КИБ).

Метод КИБ основан на генерации вещества катодным пятном вакуумной дуги сильноточного низковольтного разряда, развивающегося исключительно в печах материала катода.

Все процессы испарения, образования соединений, ионной бомбардировки и конденсации покрытия происходит в вакуумной камере, металлический корпус которой служит анодом (рис. 1). Подача в вакуумное пространство реагирующих газов (азот, ацетилен и др.) в условиях непрерывной бомбардировки конденсата ионами металла приводит к формированию соединений тугоплавких металлов благодаря протеканию плазмохимических реакций и последующей их конденсации на рабочие поверхности инструмента. Интенсивное взаимодействие субструктуры инструментального материала и осаждаемого конденсата обусловлено высокой температурой в зонах формирования покрытия и повышенной подвижностью атомов приповерхностных слоев инструментального материала. Последнее позволяет обеспечить относительно высокую прочность адгезии между материалами покрытия и инструмента [1].

Сильное влияние на структуру и дефектность покрытия, а, следовательно, и на его свойства оказывают технологические условия получения покрытия. Среди большого количества факторов, оказывающих влияние на свойства покрытия, главными являются док дуги  $I_d$ , отрицательный потенциал на режущем инструменте в процессе бомбардировки  $U_{IB}$  и конденсации покрытия  $U_C$ , время ионной бомбардировки  $T_{IB}$ .



*Рис. 1. Принципиальная схема установки, использующей вакуумно-дуговой принцип ◊ Principijelna šema uređaja za nanođenje prevlaka ◊ Schematically configuration of KIB system*

и время конденсации  $T_C$ , расстояние между катодом-испарителем и режущим инструментом  $L$ , расстояние между геометрической осью потока плазмы и режущим инструментом  $l$ , давление реакционного газа.

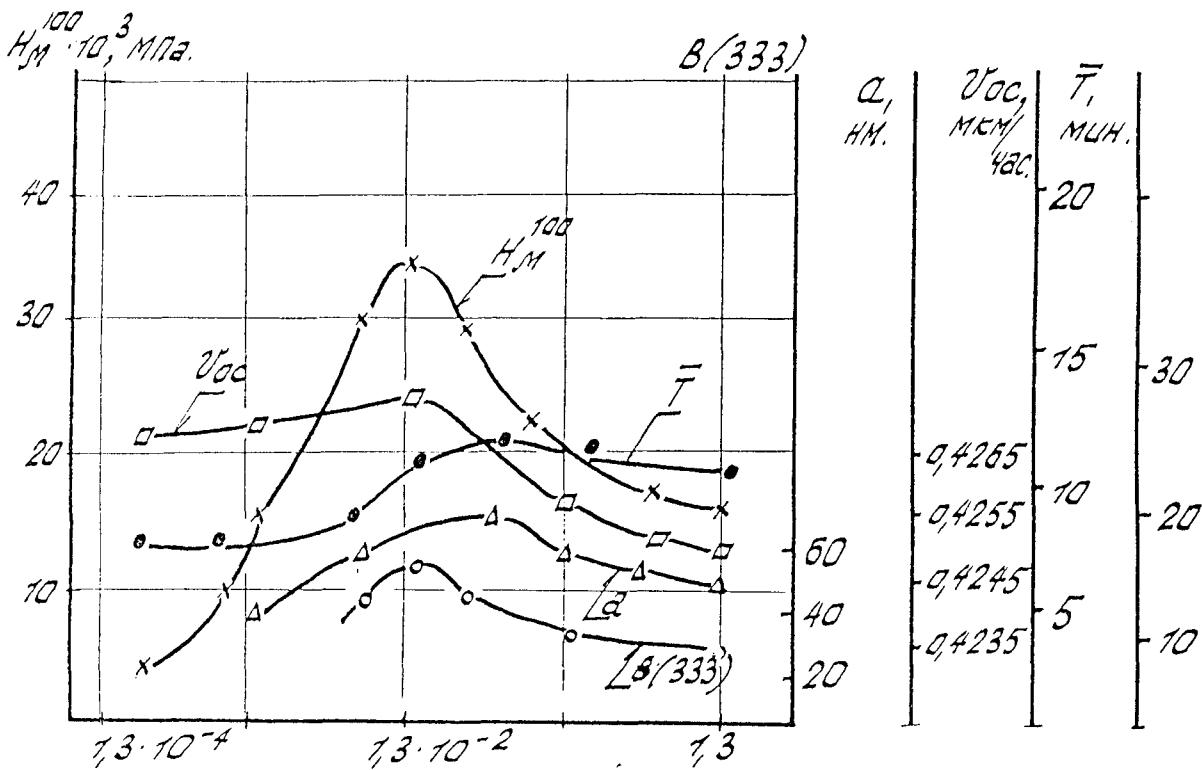
В частности, скорость осаждения покрытия  $v_{oc}$ , параметр решетки "а" и ее искажения В(333), микротвердость  $H_\mu^{100}$  сильно зависят от давления реакционного газа  $P_N$  (азота) (рис. 2). Все указанные параметры имеют экстремум при определенном давлении, оптимальная величина которого (определяется максимумом функции) сильно зависит от состава покрытия, технологических параметров установки. Например, для нитридотитанового покрытия максимум микротвердости соответствует давлению  $P_N = 1.3 \cdot 10^{-2}$  (рис. 2), однако, при этом покрытие будет обладать и повышенной хрупкостью, обусловленной максимумом искажений кристаллической решетки В(333). Покрытие TiN стехиометрического состава ( $a=0.4245 \pm 0.5$  Нм) формируется при более низких давлениях  $P_N$ , однако такие покрытия максимально повышают стойкость резцов из быстрорежущей стали Р6М5 (рис. 2).

На свойства покрытия, а также стойкость инструмента сильное влияние оказывает условия подготовки режущего инструмента, его геометрия (особенно величина радиуса скругления главной режущей кромки),

исходные свойства и субструктура поверхности быстрорежущей стали.

Чрезвычайно важным параметром, характеризующим его работоспособность покрытия, является его толщина. Толщина покрытия оказывает двойственное влияние на работоспособность и надежность инструмента из быстрорежущей стали. С одной стороны, рост толщины заметно повышает износостойкость контактных площадок инструмента за счет роста их твердости, устойчивости против окисления и высокотемпературной коррозии, роста пассивности инструментального материала против физико-химического взаимодействия с обрабатываемым материалом. С другой стороны, рост толщины покрытия приводит к заметному увеличению количества различных дефектов в объеме покрытия, причем таких опасных как макро- и микропоры, микротрешины, неоднородность зерна и рост его размеров итд. Таким образом, с увеличением толщины покрытия резко возрастает вероятность появления опасного дефекта, который может привести к динамическому разрушению покрытия. Отсюда и связь оптимальной толщины покрытия с условиями протекания процесса резания.

Для стационарных процессов резания с образования непрерывных (сливных) стружек толщина покрытия может быть увеличена. Для нестационарного и прер-



точение стали 45 HB180 с  $v = 55$  м/мин;  $s = 0.45$  мм/об;  $t = 2$  мм ◊ struganje čelika 45 HB180 sa  $v = 55$  m/min;  $s = 0.45$  mm/o;  $t = 2$  mm ◊ (turning steel 45 HB180 with  $v = 55$  m/min;  $s = 0.45$  mm/r;  $t = 2$  mm)

**Рис. 2. Влияние давления азота  $P_N$  на свойства нитридотитанового покрытия и среднюю стойкость резцов Р6М5-ТиН ◊ Uticaj pritiska azota  $P_N$  na svojstva prevlake i srednju postojanost alata ◊ The connection between nitride pressure  $P_N$ , coating characteristics and tool life**

ывистого резания (т.е. при формировании стружек типа надлома, суставчатой, элементной, протекании выраженных адгезионно-усталостных процессов, колебаниях по времени силовых параметров и температуры итд.), циклический характер нагружения контактных площадок инструмента приводит к необходимости снижения толщины покрытия.

Таким образом, толщина покрытия является параметром, подлежащим оптимизации в каждом конкретном случае.

При оптимизации покрытия в качестве критериев оптимизации были выбраны средняя стойкость  $\bar{T}$  и коэффициент его вариации  $\nu_T$ :

$$\bar{T} = \frac{\sum_{i=1}^n T_i}{n} ; \quad \nu_T = \frac{\sigma_T}{\bar{T}} ;$$

$$\sigma_T = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (T_i - \bar{T})^2}$$

где:  $n$  - число дублей испытаний;  $\sigma_T$  - среднее квадратичное отклонение стойкости инструмента;  $\bar{T}$  - среднее арифметическое значение стойкости.

Зависимости  $h_n = f(\bar{T})$  и  $h_n = f(\nu_T)$  имеют выраженный экстремум (рис. 3). В частности установлено, что для инструмента из быстрорежущей стали Р6М5 оптимальная толщина покрытия составляет 4 - 6 мкм для операций непрерывного резания (точение, сверление, резьбонарезание, протягивание итд.) и 2 - 3 мкм для операций прерывистого резания (фрезерование, зубодолбление итд.).

Установлена сильная зависимость работоспособности инструмента с покрытием от исходных свойств быстрорежущей стали (твердость, теплостойкость). На рис. 4 представлены результаты исследований твердости пластинок из быстрорежущей стали Р6М5 и Р8М3К6С, которую изменяли путем закалки от различных температур (1180 - 1260 °C) с последующим 3-х кратным отпуском при температуре 560 °C или изменением температуры отпуска (20 - 640 °C) при постоянной температуре закалки (1220 °C).

Полученные данные свидетельствуют о сильном влиянии твердости и теплостойкости (сопротивля-

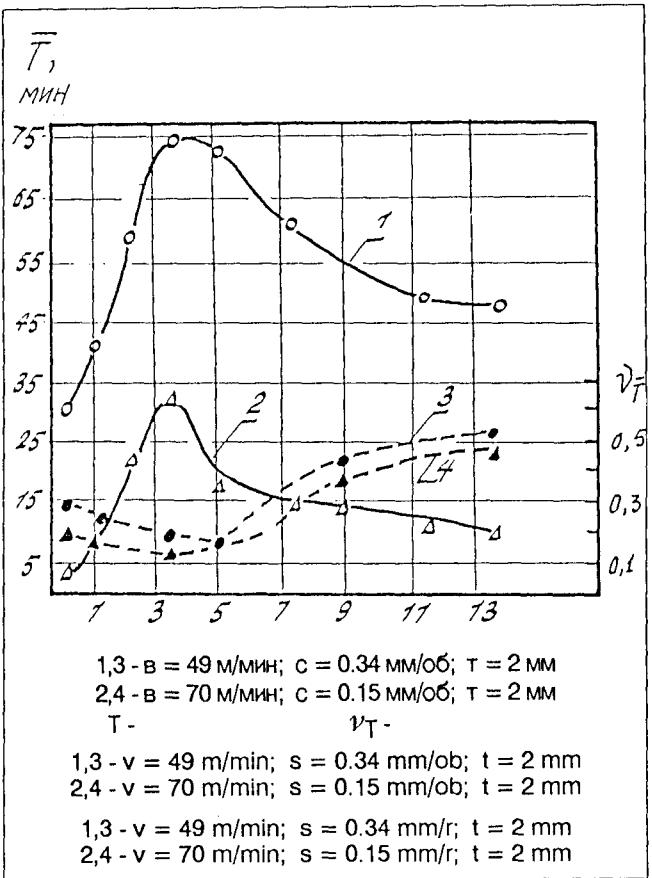


Рис. 3. Влияние толщины покрытия TiN на показатели работоспособности резцов Р6М5 при точении стали 45 HB180 ◊ Uticaj debljine prevlake TiN na postojanost alata i koeficijent varijacija pri obradi čelika 45 HB180 ◊ The connection between TiN coating thickness, tool life and coefficient variation (turning steel 45 HB180)

ности термопластичному разрушению) быстро режущей стали на стойкость инструмента с покрытием. В частности, эффективность покрытий возрастает с увеличением твердости и теплостойкости быстрорежущей стали. Например, для инструмента из более теплостойких сталей Р8М3К6С после нанесения покрытий стойкость повышается более значительно в сравнении с инструментом из Р6М5-TiN.

Рассмотрим пример оптимизации технологических параметров процесса КИБ при конденсации покрытий TiN на резцы из быстрорежущей стали Р18, Р6М5К5 и Р12Ф4К5, предназначенные для резания заготовок из труднообрабатываемого жаропрочного сплава ХН77ГЮР ВД. Критерием оптимизации служила скорость изнашивания резцов, которую определяли через 15 минут их работы:

$$J = \frac{h_3}{15 \cdot v} \cdot 10^4 \quad [\text{mm/min}]$$

где:  $J$  - скорость изнашивания;  $h_3$  - износ задней поверхности инструмента;  $v$  - скорость резания.

При оптимизации использовали следующую модель:

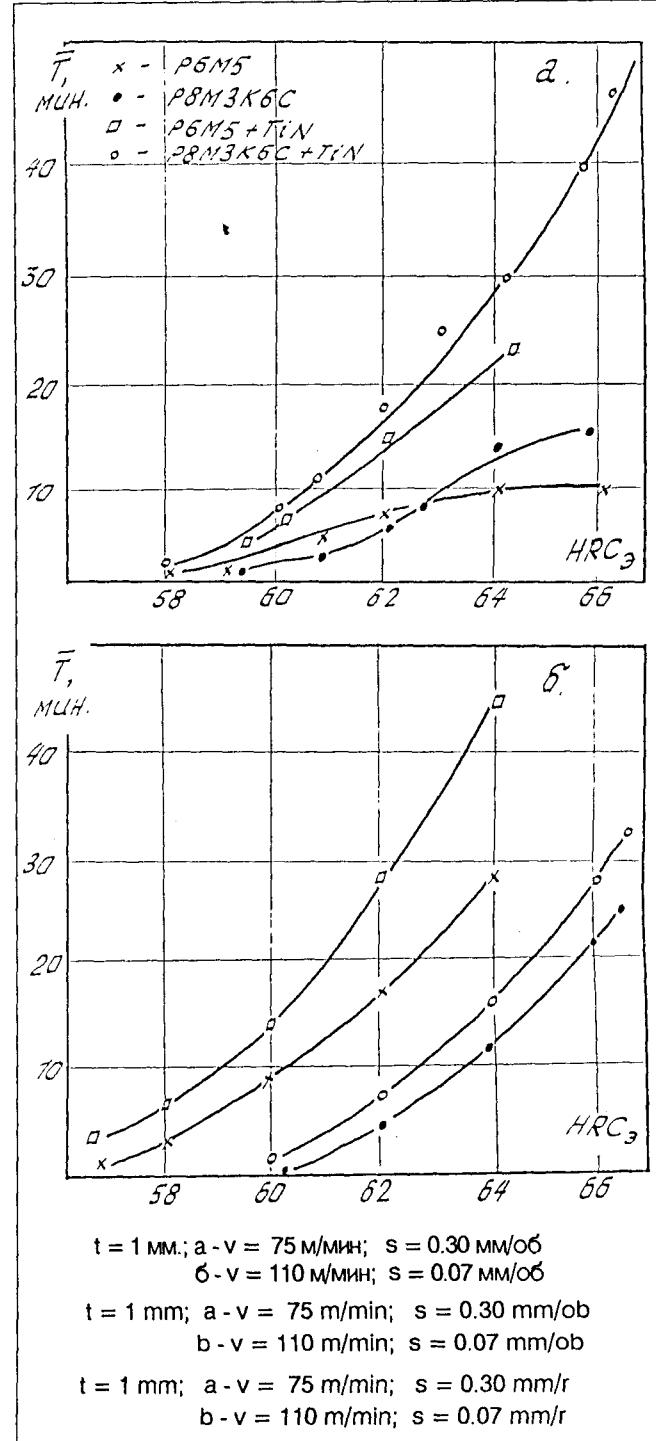


Рис. 4. Влияние вторичной твердости быстрорежущей матрицы и ее теплостойкости на стойкость резцов при точении стали 45 HB180 ◊ Uticaj sekundarne tvrdocene HSS na njegovu postojanost alata pri stругanju visokim temperaturama i postojanosti alata pri stругanju čelika 45 HB180 ◊ The second hardness of HSS influence on the tool life and heatresistance (turning steel 45 HB180)

$$J = C_q \cdot P_N^{x_q} \cdot U_C^{y_q} \cdot I^{z_q} \cdot T_C^{m_q}.$$

где:  $h_q$   $y_q$   $z_q$   $m_q$  - степенные показатели, учитывающие степень влияния факторов процесса КИБ: давления азота  $P_N$ , потенциала на режущем инструменте в про-

цессе конденсации покрытия  $U_C$  тока дуги  $I$  и времени конденсации покрытия  $\tau_C$  на скорость изнашивания инструмента;  $C_q$  - постоянная.

Точение сплава ХН77ТЮР ВД производили при  $v = 11 \text{ м/мин}$ ;  $s = 0.2 \text{ мм/об}$ ;  $t = 0.5 \text{ мм}$  резцами с механическим креплением пластин, имеющих следующие значения геометрических параметров:  $\gamma = 10^\circ$ ;  $\alpha = 8^\circ$ ;  $\varphi = 45^\circ$ ;  $\varphi_1 = 15^\circ$ ;  $\lambda = 0^\circ$ ;  $r = 1 \text{ мм}$ . Закалку пластин из стали Р18, Р6М5К5, Р12Ф4К5 проводили по верхнему пределу температур, отпуск для всех марок - по одному режиму:  $T = 560^\circ\text{C}$ , 3 раза по одному часу.

Уровни варьируемых факторов представлены в таблице 1.

Таблица 1. Уровни варьируемых факторов

Уровни факторов	$P_N$ [Па] $x_1$	$U_C$ [В] $x_2$	$I$ [А] $x_3$	$\tau_{IB}$ [мин] $x_4$
Верхний (+)	$1.33 \cdot 10^{-3}$	140	120	45
Нижний (-)	$2.66 \cdot 10^{-1}$	60	80	5

Реализация полного факторного эксперимента типа  $2^4$  позволила определить математические модели и оценить их адекватность реальным процессом:

$$J = \frac{U_C^{0.28} \cdot \tau_C^{0.14} \cdot I^{0.54}}{10^{3.7} \cdot P_N^{0.18}} \text{ - для резцов Р18 . . . . (1)}$$

$$J = \frac{U_C^{0.14} \cdot \tau_C^{0.18}}{10^{2.46} \cdot P_N^{0.12} \cdot I^{0.14}} \text{ - для Р6М5К5 . . . . . (2)}$$

$$J = \frac{U_C^{-0.08}}{10^{1.72} \cdot P_N^{0.25} \cdot \tau_C^{0.04} \cdot I^{0.14}} \text{ - для Р12Ф4К5 . . . . . (3)}$$

Полученные модели свидетельствуют о сильном влиянии технологических параметров процесса КИБ на скорость изнашивания резцов из различных быстрорежущих сталей, причем максимальное влияние оказывают давление  $P_N$  и напряжение на инструменте  $U_C$ , в то время как параметры  $I$  и  $\tau_C$  влияют неоднозначно. С ростом теплостойкости быстрорежущей стали, увеличивающей ее сопротивляемость термопластичному (вязкому) разрушению, возра-

стает эффективность покрытия. Например, скорость изнашивания резцов Р6М5К5-ТиН и Р12Ф4К5-ТиН заметно меньше соответствующего параметра резцов Р6М5-ТиН (табл. 2).

Таблица 2. Интенсивность изнашивания резцов из быстрорежущей стали при точении стали ХН77ТЮР ВД

Марка стали	$J$	$J_{IP}$	$J_{IP}/J$
Р18	0.043	0.023	1.86
Р6М5К5	0.042	0.017	2.47
Р12Ф4К5	0.038	0.017	2.24

Примечание: Й-без покрытия; Й<sub>П</sub>-с покрытием ТиН.

В соответствии с моделями (1) - (3) рассчитаны параметры процесса КИБ, при реализации которых осаждается покрытие TiN, минимизирующее изнашивание резцов из быстрорежущей стали при точении сплава ХН77ТЮР ВД:  $P_N = 0.2 - 0.5 \text{ Па}$ ;  $U_C = 180 - 300 \text{ В}$ ;  $I = 90 - 100 \text{ А}$ ;  $\tau_C = 5 - 7 \text{ мин}$ .

Исследование особенностей процесса резания инструментом из быстрорежущей стали с покрытием TiN показали заметное изменение параметров стружкообразования и контактных процессов (длин контакта по передней и задней поверхностям инструмента  $C_\gamma$ ,  $C_{\gamma 1}$ ,  $C_\omega$ , углов сдвига  $\phi$  и действия  $\omega$ , коэффициента продольного укорочения струшки  $\xi$ , высоты контактной зоны  $h_k$ , напряжений в плоскости сдвига  $\tau_\phi$  и  $\sigma_\phi$ , контактной площадки задней са и передней поверхности  $\tau_\gamma$ ,  $\sigma_\gamma$ ). Эти исследования показали существенное улучшение процесса стружкообразования для быстрорежущего инструмента: уменьшение длин контакта  $\chi_\gamma$ ,  $\chi_{\gamma 1}$  на 20 - 30%, снижение напряжений в плоскости сдвига  $\tau_\phi$ ,  $\sigma_\phi$  на 5 - 10% и контактной площадке передней поверхности  $\tau_\gamma$ , снижение трения и энергозатрат на процесс резания (табл. 3).

Благоприятно изменяется также тепловое состояние процесса резания. В частности, проведенные исследования по методике, использующей многопозиционные термоиндикаторные вещества типа ТЮ - 53 (шесть переходов) [2], позволили установить снижение температуры в режущей части инструмента с покрытием на 15 - 20% по сравнению с температу-

Таблица 3. Изменение параметров стружкообразования, контактных процессов и энергозатрат на процесс резания при использовании быстрорежущего инструмента с покрытием TiN. Точение стали (свободное) 45НВ180 с  $v = 65 \text{ м/мин}$ ;  $s = 0.3 \text{ мм/об}$ ;  $t = 2 \text{ мм}$

Инструмент	$C_\gamma$ [мм]	$\phi$ [°]	$\omega$ [°]	$\xi$	$h_k$ [мм]	$\tau_\phi \cdot 10^{-2}$ [МПа]	$\tau_\gamma \cdot 10^{-2}$ [МПа]	$A \cdot 10^{-1}$ [Дж]	$A_T \cdot 10^{-1}$ [Дж]
Р6М5	1.02	36	20	2.1	0.09	21	4.2	146	76
Р6М5-ТиН	0.68	45	12	1.8	0.06	14	3.8	132	48

Примечание: А - работа резания, А<sub>Т</sub> - работа трения по передней поверхности инструмента.

рами инструмента без покрытия. Изменяется также характер распределения температур в режущей части инструмента, в частности, отмечено смещение изотермы максимальных температур в сторону режущей кромки и контактной площадки задней поверхности. Последнее свидетельствует о снижении мощности теплового источника по передней поверхности.

Благоприятное изменение термомеханических напряжений в режущей части инструмента с покрытием оказывает положительное влияние на его работоспособность.

Проведены широкие стойкостные исследования инструмента из быстрорежущей стали с различными вариантами однослойных покрытий, получаемых при использовании технологии КИБ ( $v = 30 - 110 \text{ м/мин}$ ;  $s = 0.08 - 0.57 \text{ мм/об}$ ;  $t = 0.5 - 2 \text{ мм}$  - точение стали 45 НВ180 и  $v = 20 - 80 \text{ м/мин}$ ;  $s_z = 0.1 - 0.8 \text{ мм/зуб}$ ;  $t = 0.5 - 10 \text{ мм}$ ;  $B = 140 \text{ мм}$  - симметричное фрезерование стали 40Х НВ200).

В качестве примера рассмотрим данные стойкостных исследований, полученные при точении стали 45 резцами Р6М5 и Р6М5-TiN ( $h_p = 5 \text{ мкм}$ ). Полученные данные свидетельствуют о значительных преимуществах резцов Р6М5-TiN, которые имели стойкость в 2.5 - 8 раз выше стойкости резцов Р6М5.

Анализ данных стойкостных исследований позволяет отметить следующее:

1. Эффективность инструмента с покрытием повышается с ростом скорости резания, однако при скоростях резания, приводящих к термопластичному разрушению режущей части покрытие интенсивно разрушается.
2. С ростом подачи выше 0.4 - 0.6 мм/об эффективность инструмента из быстрорежущей стали с покрытием снижается из-за увеличения вероятности упругих прогибов режущей части инструмента и хрупкого разрушения покрытия.
3. При обработке на скоростях резания, приводящих к неустойчивому наростообразованию, разница в работоспособности инструмента с покрытием и без покрытия заметно снижается.

Статистическая обработка данных стойкостных испытаний с оценкой аппроксимаций регрессионных линий по методу наименьших квадратов:

$$\sum_{i=1}^n (y_i - x_i)^2 \rightarrow \min$$

где:  $y_i$  - экспериментальное значение стойкости;  $x_i$  - теоретическое (расчетное) значение.

В случае монотонности функций  $\bar{T} = f(v)$ ;  $\bar{T} = f(s)$ ;  $\bar{T} = f(t)$  их аппроксимировали прямой в двойной логарифмической шкале (как показано на рис. 5). Расчетные математические модели стойкости на примере точения стали 45 НВ180 имели следующий вид:

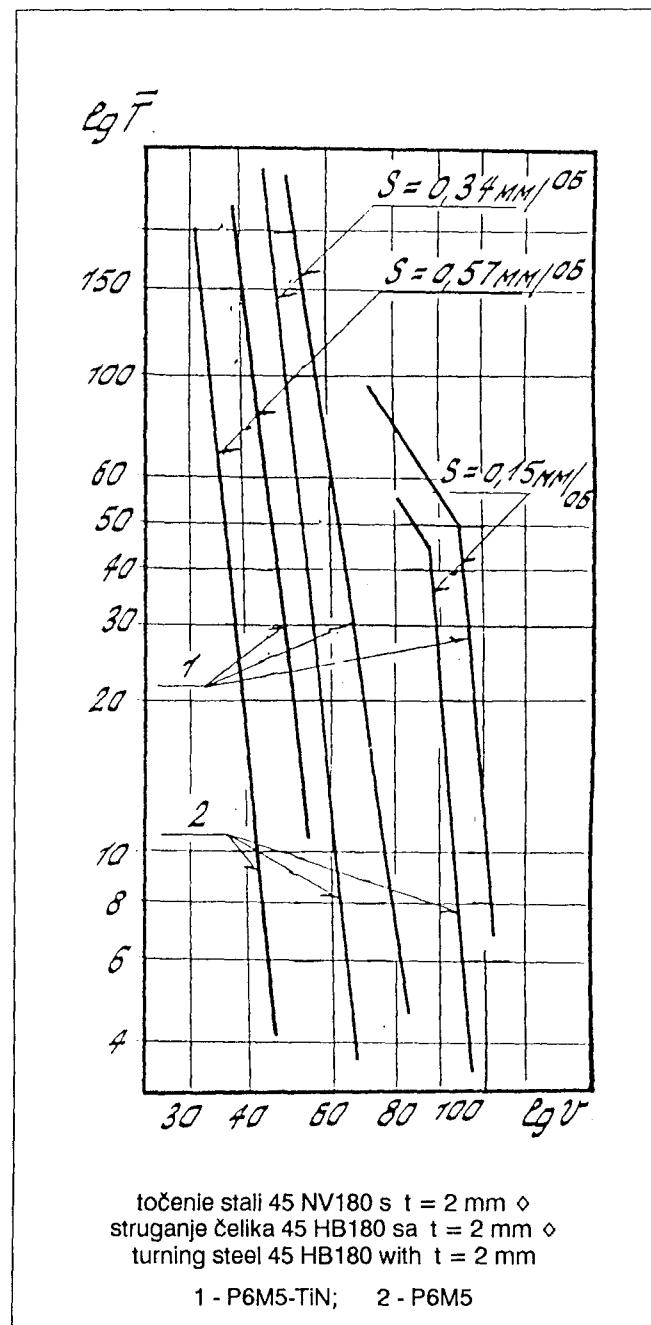


Рис. 5. Влияние скорости резания на стойкость резцов из стали Р6М5 ◊ Uticaj brzine rezanja na postojanost alata od HSS (P6M5) ◊ The cutting speed and tool life

$$T = 648 \cdot \frac{10^8}{v^{5.5} \cdot s^{1.66} \cdot t^{0.5}} \text{ - для резцов Р6М5 . . . (4)}$$

$$T = 226 \cdot \frac{10^8}{v^{4.2} \cdot s^{2.15} \cdot t^{0.48}} \text{ - для Р6М5-CrNi . . . (5)}$$

$$T = 225 \cdot \frac{10^8}{v^{3.8} \cdot s^{2.06} \cdot t^{0.46}} \text{ - для Р6М5-TiN . . . (6)}$$

Математические модели (4) - (6) позволяют отметить, что для инструмента с покрытием характер функции  $T = f(v, s, t)$  принципиально не изменяется. При этом

для инструмента с покрытием снижается степень влияния скорости резания и увеличивается влияние подачи с на стойкость инструмента.

Анализ результатов стойкостных исследований инструмента из быстрорежущих сталей с однослойными покрытиями показывает, что, несмотря на значительный вклад покрытия в снижение интенсивности изнашивания, эффективность такого инструмента заметно ниже ожидаемой. В частности результаты наблюдения за процессом эксплуатации статистически достаточно большой выборки различных типов инструмента из быстрорежущей стали с покрытием (сверла, долбяки, червячные и концевые фрезы, метчики) показали, что долговечность однослойных покрытий ( $TiN$ ,  $CrN$ ,  $MoN$  и др.) чрезвычайно невелика и составляет не более 0.5 - 10% от периода стойкости инструмента до полного затупления (табл. 4).

Установлено [1], что среди главных причин разрушения покрытий: явления высокотемпературной ползучести, склонность режущей части инструмента к упруго-пластическим прогибам и потере формостойчивости, недостаточная прочность адгезии между материалами покрытия и инструмента, дефек-

**Таблица 4. Долговечность износостойких покрытий на контактных площадках различных типов инструмента из быстрорежущей стали (данные производственных испытаний)**

Тип инструмента	$To = (Tp/T) 100\%$ ; Tp - время работы покрытия до разрушения; T - стойкость
Сверла	2 - 5
Концевые фрезы	0.5 - 2
Метчики	0.5 - 5
Долбяки	0.5 - 2
Червячные фрезы	0.5 - 2
Протяжки	2 - 10

ты покрытия. Еще одной причиной разрушения покрытия является критическое напряжение на границе раздела "покрытие-инструментальный материал", возникающие при термомеханическом нагружении контактных площадок инструмента. Возникающие напряжения сильно зависят от разницы теплофизических и физико-механических свойств материалов покрытия и инструмента, собственных микронапряжений в поверхности инструментального материала после полной термообработки и заточки. С учетом несовершенств операций подготовки инструмента перед нанесением покрытия, усугубляющих многие из отмеченных причин низкой долговечности износостойких покрытий, разработка методов повышения их долговечности является наиболее важной научной

задачей проблемы создания инструмента с износостойким покрытием.

Исследование причин повышенной склонности режущего клина инструмента с покрытием к упруго-пластическим прогибам как одного из основных факторов, приводящих к формированию фронта хрупких трещин в направлении нормальном направлению сбегающей стружки и дальнейшему полному разрушению покрытия на контактных площадках инструмента показало, что это связано со спецификой протекающих контактных процессов. В частности, высока вероятность формирования на контактной площадке передней поверхности быстрорежущего инструмента с покрытием нормальных контактных напряжений  $\sigma_y$  заметно превышающих уровень напряжений для инструмента без покрытия (рис. 6). Разница напряжений  $\sigma_y$  возрастает по мере роста толщины среза, прочности и твердости обрабатываемого материала. В некоторых случаях напряжение  $\sigma_y$  для инструмента с покрытием может превышать на 15 - 20% соответствующее значение напряжения для инструмента без покрытия.

Одновременно сильно трансформируется тепловое состояние инструмента с покрытием, как отмечено выше, особенно важным представляется смещение изотермы максимальных температур в направлении режущей кромки и контактной площадки задней поверхности (рис. 6-б).

Рассмотренная особенность трансформации контактных напряжений  $\sigma_y$  и температур для инструмента с покрытием может привести к снижению жесткости режущего клина и уменьшению запаса пластической прочности.

Согласно положениям теории резания деформационное состояние контактных слоев инструментального материала вдоль задней поверхности приближается к состоянию простого сдвига. В этом случае эквивалентные напряжения можно выразить через контактные напряжения

$$\sigma_{ekv} = 3 \cdot (\sigma_y + \sigma_\alpha)^2 + \sigma_\alpha^2 \dots \dots \dots \quad (7)$$

с учетом выражения (7), коэффициент запаса пластической прочности инструмента можно определить выражением:

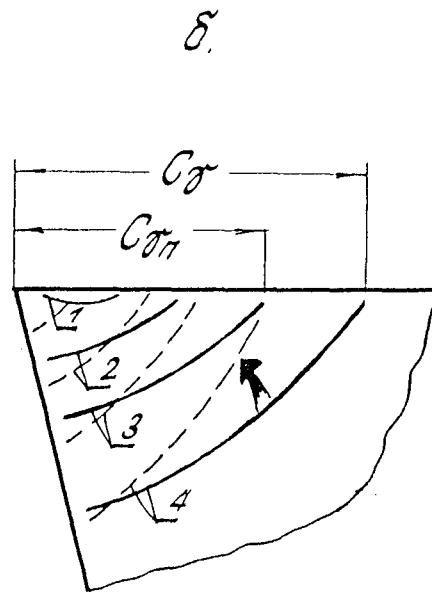
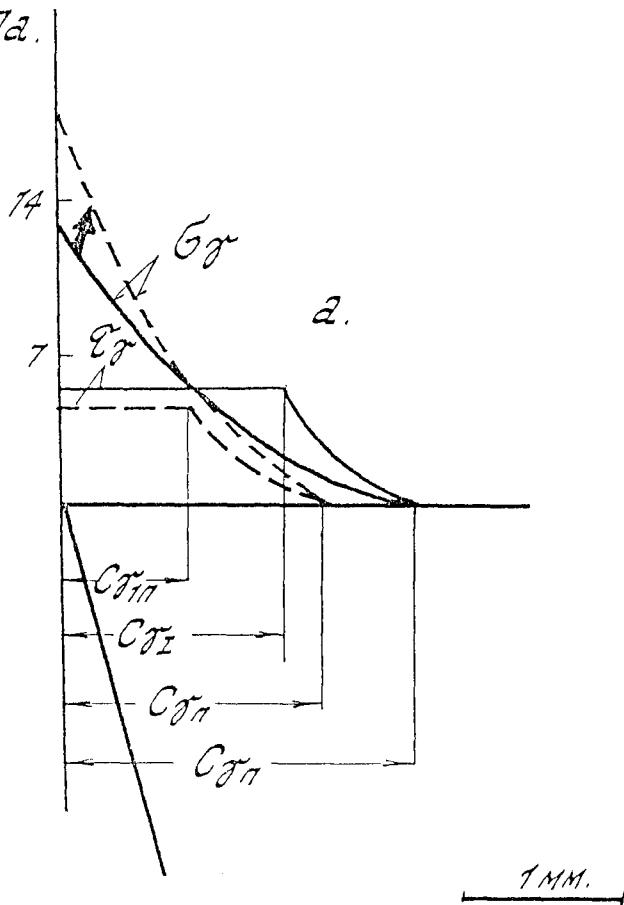
$$n_T = \frac{\sigma_T}{3 \cdot (\sigma_y + \sigma_\alpha)^2 + \sigma_\alpha^2} \dots \dots \dots \quad (8)$$

где:  $\sigma_T$  - предел текучести инструмент. материала.

Снижение запаса пластической прочности инструмента при нанесении на него покрытия можно оценить с помощью коэффициента Кпл:

$$Kpl = \frac{n_T - n_{Tp}}{n_{Tp}} \cdot 100\% \dots \dots \dots \quad (9)$$

$(\sigma_x, \sigma_y) \cdot 10^2$   
МПа.



без покрытий ◊ bez plevlakе ◊ without coating

с покрытием TiN ◊ sa prevlakom TiN ◊ with coating TiN

$v = 50$  м/мин ◊ m/min;  $s = 0.6$  мм/об ◊ mm/ob; ◊ mm/r;  $t = 2$  мм

1 - 620; 2 - 415; 3 - 365; 4 - 230°C

Рис. 6. Характер трансформации контактных напряжений (а) и изотерм (б) в пределах контактной площадки передней поверхности резцов из стали Р6М5 при точении стали 40Х HB200 ◊  
Karakter transformacije kontaktnih naprezanja (a) i izotermi (b) na alatu pri struganju čelika 40X HB200 ◊  
The contact strength, transformation on the coating and noncoating tool (turning steel 40X HB200)

где:  $K_{пл}$  - коэффициент запаса пластической прочности для инструмента с покрытием.

Оценка коэффициента  $K_{пл}$  для 3-х вариантов ионно-плазменных покрытий TiN, NbN, CrN применительно к точению стали 45 HB180 при  $v = 49$  м/мин;  $a = 0.163$  мм;  $t = 2$  мм, представлена ниже:

Полученные данные позволяют отметить следующее. При разработке новых составов покрытий с улучшенными свойствами, использование которых позволит положительно изменить параметры стружкообразования, контактных процессов, энергозатраты процесса резания с большой вероятностью можно ожидать увеличения склонности к упруго-пластическим прогибам режущего клина инструмента, снижения запаса пластической прочности инструмента и, следовательно, увеличения вероятности интенсивного хрупкого разрушения покрытия. Указанные тенденции во-

	значение $K_{пл}$
P6M5-TiN	8
P6M5-NbN	14
P6M5-CrN	28

зрастают по мере увеличения прочности и твердости обрабатываемого материала, склонности последнего к физико-химическому взаимодействию с инструментальным материалом, роста сечения среза.

Таким образом, при создании инструмента с новыми высоко эффективными составами покрытий, необходимо одновременно разрабатывать мероприятия по компенсации снижения пластической прочности инструмента. В частности, согласно уравнению (8) это

можно сделать путем повышения предела текучести приповерхностных слоев инструментального материала на глубинах соответствующих толщине текстурированных слоев инструментального материала т.е. слоев, для которых проявляется явления микроползучести. Такое повышение предела текучести можно обеспечить методами механического, химико-термического или физического поверхностного упрочнения режущей части инструмента.

На основе подхода к износостойкому покрытию как "промежуточной технологической среде" (ПТС) между инструментами и обрабатываемым материалами разработана концепция роста эффективности износостойких покрытий путем повышения их долговечности. На основании такого подхода сформулированы положения о повышении долговечности покрытий путем компенсации снижения запаса пластической прочности инструмента за счет формирования в приповерхностных слоях быстрорежущей стали термостабильного слоя, обладающего повышенным пределом текучести.

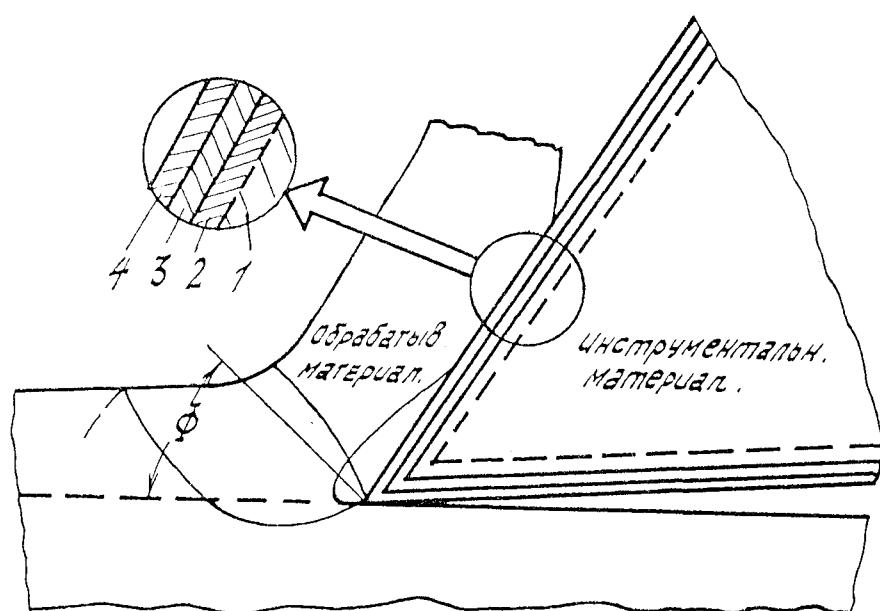
Таким образом, были сформулированы принципы комплексной поверхностной обработки (КПО) как нового метода повышения работоспособности инструмента из быстрорежущей стали и разработаны оборудование и технология для реализации метода КПО.

Износостойкий комплекс, формируемый в процессе реализации разработанной технологии КПО имеет многоцелевые функции (рис. 7).

Введение термостабильного слоя между инструментальным материалом и износостойким покрытием (слой 2, рис. 7) способствует увеличению запаса пластической прочности инструмента и жестокости матрицы, что способствует снижению склонности режущей части инструмента к упругим прогибам и потере формуустойчивости вследствие пластического деформирования под воздействием термомеханических нагрузок, возникающих в процессе резания. Кроме того, термостабильный слой способствует компенсации разницы тепло-физико-механических свойств между материалами покрытия и инструмента, а также повышает поверхностную теплостойкость быстрорежущей стали, снижая вероятность его разупрочнения в процессе эксплуатации инструмента.

Использование нового поколения многослойно-композиционных покрытий (слой 4, рис.7) на основе карбидов, нитридов и карбонитридов тугоплавких металлов 4-6 группы Периодической системы элементов, а также нитридов этих элементов, легированных алюминием, позволяет повысить сопротивляемость износостойкого покрытия хрупкому усталостному разрушению особенно в условиях повышенных контактных напряжений, прерывистости процесса резания, перетачиваний режущего инструмента по одной из рабочих поверхностей в процессе его эксплуатации.

Введение специальных подслоев металла (слой 3, рис.7) обладающих повышенной кристалло-химической совместимостью с материалами покрытия и



1 - инструментальный материал ◊ alatni materijal ◊ tool material ◊ difuzioni termostabilni sloj ◊ diffusion layer 3 - металлический адгезионный подслой ◊ metalni adhezioni podsloj ◊ metal adhesive layer 4 - износостойкое покрытие ◊ ntihabajuća prevlaka ◊ tribological coating

*Ris. 7. Принципиальная схема износостойкого комплекса (ИК), формируемого в процессе комплексной поверхностной обработки (КПО-обработка) ◊ Struktura kontaktog sloja: ◊ The contact layer structure*

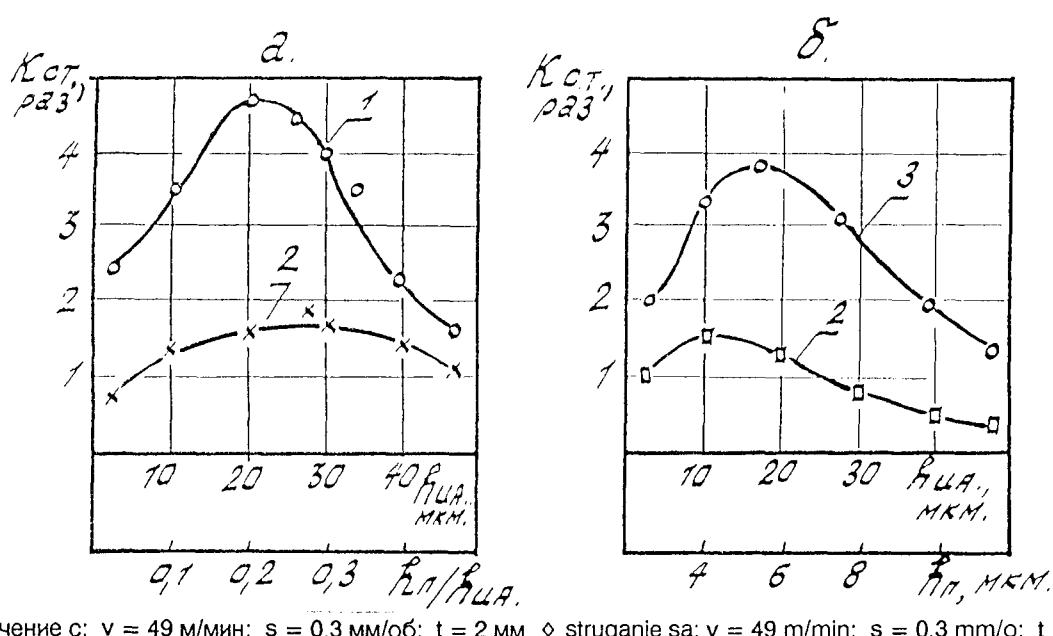
инструмента, обеспечивает повышенную прочность адгезии покрытия и инструментального материала, снижает напряжения на границе их раздела.

Для формирования слоя 2 (рис. 7) в принципе можно использовать любые методы механического, химико-термического и физического упрочнения. Однако в разработанной для промышленного применения технологии КПО для формирования слоя 2 использовано азотирование в плазме электрического газового разряда (ионное азотирование). Применение ионного азотирования позволяет повысить твердость и теплостойкость приповерхностных слоев быстрорежущей стали (например, Р6М5 ГОСТ 1926-73) на глубине 10 - 40 мкм до 11 - 12 10<sup>3</sup> МПа и 20 - 50°C соответственно. Кроме того, использование ионного азотирования в технологии КПО позволяет совместить операции формирования термостабильного слоя 2 (рис. 7) и осаждение покрытия (4) в одной технологической установке. Немаловажное значение имеет и тот факт, что при ионном азотировании изменение линейных размеров инструмента минимально.

На рис. 8 показаны результаты оптимизации параметров износостойкого комплекса инструмента из стали Р6М5 при точении и симметричном торцевом фрезеровании стали 40Х HB200. Как видно из графиков рис. 8 максимальное повышение стойкости инструмента обеспечивается при толщинах азотированного слоя

$h_{IA} = 20 - 30$  мкм при точении (рис. 8а) и 10 - 20 мкм при фрезеровании (рис. 8б). Оптимальные толщины покрытия возрастают до  $h_{IA} = 8$  мкм при точении ( $h_{IA} = 5$  мкм без азотирования) и до  $h_{IA} = 6$  мкм при фрезеровании ( $h_{IA} = 3$  мкм без азотирования), что убедительно свидетельствует о более благоприятных условиях работы хрупкого покрытия приросте сопротивляемости быстрорежущей стали термопластичному (вязкому) разрушению.

Исследование работоспособности инструмента из стали Р6М5, подвергнутого КПО при точении (рис. 9а) и симметричном фрезеровании (рис. 9б) выявили заметное преимущество инструмента с КПО по сравнению с инструментом без упрочнения и инструментом с нитридотитановым покрытием. Отмечен ощутимый рост эффективности инструмента с КПО с ростом скорости резания как при точении, так и фрезеровании (рис. 9). Специальные исследования позволили уяснить причины отмеченного факта. Фрагмент результатов этих исследований показан на рис. 10, из которых следует, что за весь период стойкости инструмента до полного затупления не наблюдается заметной пластической деформации матрицы из стали Р6М5. Микротвердость режущей части инструмента уменьшилась только у дна лунки износа передней поверхности, где азотированный слой полностью изношен сбегающей стружкой. Вдоль контактной

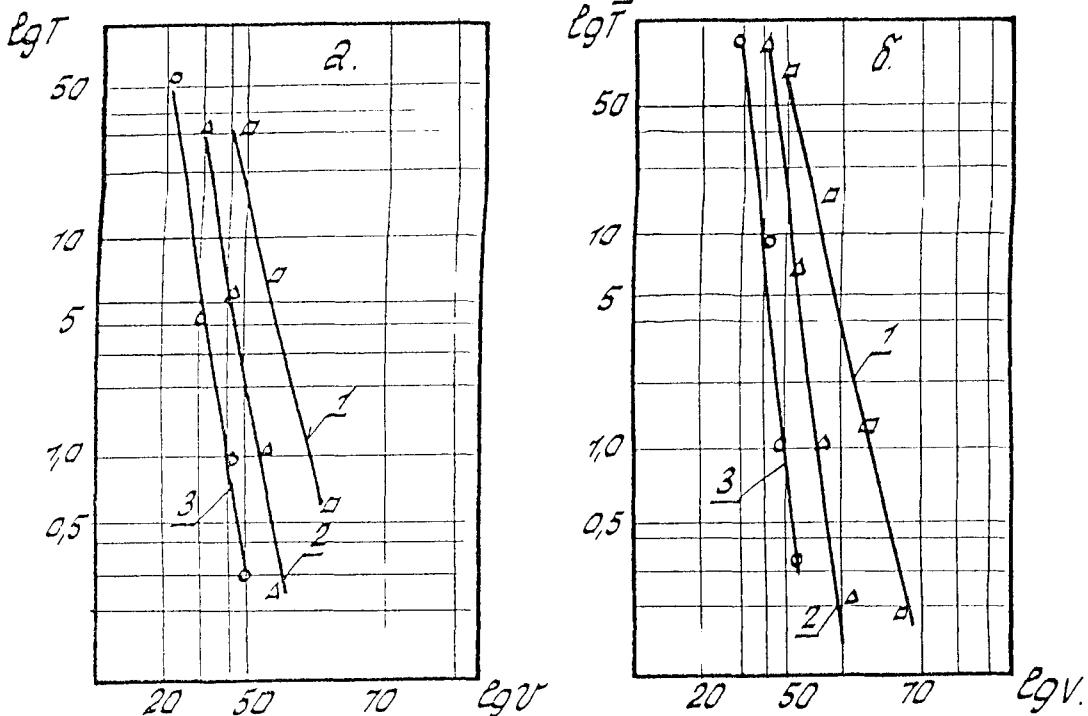


(а) точение с:  $v = 49$  м/мин;  $s = 0.3$  мм/об;  $t = 2$  мм ◇ struganje sa:  $v = 49$  m/min;  $s = 0.3$  mm/o;  $t = 2$  mm  
◇ turning with:  $v = 49$  m/min;  $s = 0.3$  mm/r;  $t = 2$  mm

(б) симметричное торцево фрезерование с:  $v = 40$  м/мин;  $s = 0.3$  мм/зуб;  $t = 2$  мм;  $B = 140$  мм ◇ simetrično čeono glodanje sa  $v = 49$  m/min;  $s = 0.3$  mm/o;  $t = 2$  mm;  $B = 140$  mm  
◇ milling with:  $v = 40$  m/min;  $s = 0.3$  mm/z;  $t = 2$  mm;  $B = 140$  mm

1 -  $hП / hIA$ ; 2 -  $hIA$ ; 3 -  $hП$  ◇ 1 -  $hП / hIA$ ; 2 -  $hIA$ ; 3 -  $hП$

Рис. 8. Зависимость коэффициента относительной стойкости  $K_{ст}$  от толщины азотированного слоя  $h_{IA}$ , толщины покрытия  $h_P$  и соотношения  $h_P / h_{IA}$  при обработке стали 40Х HB200 инструментом с КПО (IA-Ti-TiN) ◇ Koeficijent relativne postojanosti u funkciji debljine azotiranog sloja  $h_{IA}$ , debljine prevlake  $h_P$  i odnosa  $h_P / h_{IA}$  pri obradi čelika 40Х HB200 ◇ The connection between relative tool life and nitride layer thickness  $h_{IA}$ , coating thickness  $h_P$  and relation  $h_P / h_{IA}$  by machining of steel 40Х HB200



(a) токение с:  $s = 0.3 \text{ мм/об}; t = 2 \text{ мм}$  ◊ struganje sa:  $s = 0.3 \text{ mm/o}; t = 2 \text{ mm}$  ◊  
turning with:  $s = 0.3 \text{ mm/r}; t = 2 \text{ mm}$

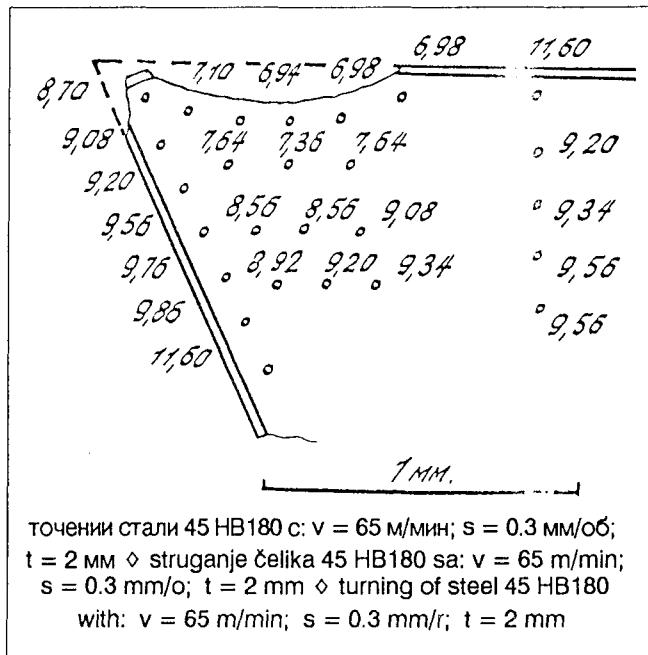
(б) симметричное торцево фрезерование с:  $s = 0.3 \text{ мм/зуб}; t = 2 \text{ мм}; B = 140 \text{ мм}$  ◊ simetrično čeliko  
glodanje sa  $s = 0.3 \text{ mm/o}; t = 2 \text{ mm}$  ◊ milling with:  $s = 0.3 \text{ mm/t}; t = 2 \text{ mm}; B = 140 \text{ mm}$

1 - P6M5-IA-TiN    2 - P6M5-TiN    3 - P6M5    1 - P6M5-IA-TiN    2 - P6M5-TiN    3 - P6M5

*Рис. 9. Влияние скорости резания на среднее значение стойкости инструмента из стали Р6М5 при обработки стали 40Х HB200 ◊ Uticaj brzine rezanja na srednju postojanost alata od HSS (P6M5) pri obradičelika 40X HB200 ◊ The cutting speed and tool life by machining of steel 40X HB200*

площадки задней поверхности микротвердость матрицы не снижалась меньше, чем на  $(8.5 - 9) 10^3 \text{ МПа}$ , что вполне достаточно для сохранения формы режущей части инструмента несмотря за заметное разупрочнение локальных объемов стали Р6М5 непосредственно под азотированным слоем до  $X_{\mu}^{100} = (7 - 8) 10^3 \text{ МПа}$ . Таким образом, сочетание жесткости матрицы с высокой твердостью покрытия обеспечивает повышение стойкости инструмента с любыми составами износостойких покрытий до 3-х раз (рис. 8).

Рассмотренный метод комплексной поверхностной обработки используется на ряде заводов СССР при производстве инструмента из быстрорежущей стали. В частности, промышленные испытания шлицевых протяжек  $\phi 38 \text{ мм}$  длиной  $L = 1270 \text{ мм}$  из стали Р6М5 с КПО производства Московского инструментального завода (МИЗ), включающей азотирование и нанесения многослойно-композиционного покрытия на основе нитрида системы Ti-Cr при протягивании втулок карданных валов на производственном объединение завода имени Лихачева (ЗИЛ) с  $v = 8 \text{ м/мин}$  (охлаждение - сульфофрезол MP-1) позволили повысить ресурсную стойкость протяжек (5 - 7 переточек) до 10 раз по сравнению с неупрочненными протяжка-



*Рис. 10. Поле микротвердости резца из стали Р6М5 с комплексной поверхностной обработкой ( $h_{IA} = 30 \text{ мкм}; h_{II} = 8 \text{ мкм}$ ) после 40 мин. ◊ polje mikrotvrdoće alata iz HSS (P6M5) ◊ microhardness field in the cutting tool*

ми и в 1.5 - 5 раз по сравнению с протяжками, имеющими нитридотитановое покрытие.

Производственные испытания сверл из стали Р6М5К5, Р12Ф3КЮМЗ диаметром 7 - 8 мм с КПО при обработке титановых и никелевых сплавов показали, что такие сверла имели стойкость в 10 - 15 раз выше стойкости неупрочненных сверл и до 5 раз выше стойкости сверл с различными вариантами покрытий, получаемых методом КИБ (TiN, NbN, CrN, Ti-CrN и др.).

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] ВЕРЕЩАКА А. С., ТРЕТЬЯКОВ И. П.: Режущие инструменты с износостойким покрытием, Машиностроение, 1968., 196 стр.
- [2] ВЕРЕЩАКА А. С., ПРОВОТОРОВ В. М., КУЗИН В. В. и др.: Исследование теплового состояния режущих инструментов с помощью многопозиционных термоиндикаторов, Вестник машиностроения, М. 1968, № 1, ст. 45-49

## Problemi izrade i usavršavanja alata od brzoreznog čelika sa antihabajućim prevlakama

Medju brojnim postupcima, do sada razvijenih, koji su namenjeni poboljšanju triboloških svojstava alata od brzoreznog čelika, nalazi se i KIB postupak razvijen u Rusiji i zasnovan na stvaranju prevlaka od TiN-a kondenzovanjem materijala u vakumu sa jonskim bombardovanjem.

Rezultati eksperimentalnih istraživanja izvedenih u proizvodnim i laboratorijskim uslovima prikazani su u ovom radu i odnose se na više vrsta alata (burgije, vretenasta glodala, ureznici, provlakači, alati za odvalno rendisanje i odvalna glodala). Pokazano je da na tribološka svojstva alata sa prevlakama nanesenim ovim postupkom imaju značajan uticaj pritisak azota pri nanošenju prevlaka i debljina ostvarene prevlake. Takođe je konstatovano da postoje razlike u karakteru transformacije kontaktnih naprezanja u zoni grudne površine reznih elemenata alata sa i bez prevlaka.

Za ocenu triboloških svojstava alata sa i bez prevlaka korišćena je "brzina habanja", definisana kao odnos širine pojasa habanja ostvarene na lednoj površini reznog klini alata pri rezanju u trajanju od 15 min. i brzine rezanja.

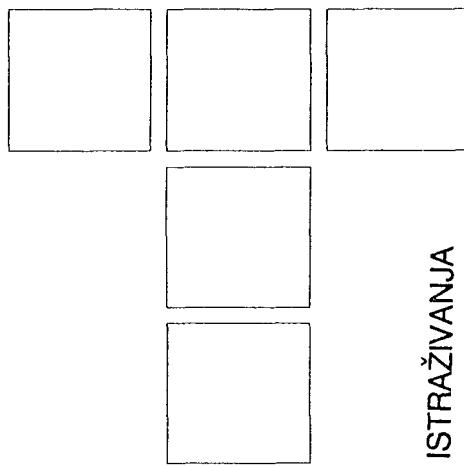
## Problems in Machining and Improving Tools of High Speed Steel with Antiwear Coatings

Among numerous procedures, developed up to now, which are meant for improvement of tribological properties of tools of high speed steel, there is also KIB procedure developed in Russia and baseed on making TiN coatings by condensing materials in vakuum with ion bombarding.

Results of experimental researches performed in manufacturing and laboratory conditions are given in this paper and they relate to several kinds of tools (spiral drills, end-milling cutters, treads, broaching, hob-milling cutters). It is shown that nitrogen pressure in the course of applying the coatings and coating thickness have significant influence on tribological properties of tools with coating applied by this procedure.

It is also confirmed that there are differences transformation character of contact shear in the area of clearance face of cutting tools with and without coatings.

For estimation of tribological properties of tools with and without coating we used "speed wear" defined as a ratio between wear-lant performed on the claerance face of cutting tool elements and lasting for 15 minutes and cutting speed

*A. MIŠKOVIĆ, M. MASLAĆ*

# Neke od mogućnosti konturne obrade kompozitnih materijala

ISTRAGIVANJA

## 1. UVOD

Obzirom na izvaredna mehanička svojstva i nisku gustoću, kompozitni materijali sa ugljeničnim i aramidnim vlaknima sve više postaju osnovni materijali za izgradnju savremenih vazduhoplova, a u novije vreme sve su prisutniji u brodarskoj industriji. Obrada odvajanja čestica ovog materijala, obzirom na strukturu i način formiranja, zahteva prilaze i uslove bitne različite od onih koje se obezbeđuju pri obradi metala. U novije vrijeme poklanja se veliki značaj razvoju postupaka obrade ovog materijala, kako bi tehnoekonomski efekti njegove primene bili veći. U toku procesa obrade u zoni rezanja vladaju složeni uslovi. Uslijed mehaničkih i topotnih opterećenja dolazi do oštećenja reznih elemenata alata.

U radu su dati rezultati literaturnih [1], [2] i eksperimentalnih istraživanja obradivosti kompozitnih pripremaka od ugljeničnih, odnosno armidnih valakana i epoksidne smole pri obradi odvajanjem čestica sa naglaskom na kvalitet, tip i geometriju alata, kao i na izbor režima obrade.

## 2. OSNOVNE KARAKTERISTIKE KOMPOZITNIH MATERIJALA NA BAZI UGLJENIČHIH I ARMIDNIH VLAKANA

Kompozitni materijali se formiraju od ugljeničnih, odnosno armidnih vlakana i smole, tako da vlakna čine ojačanje, a smola vezivno sredstvo. Vlakna doprinose osnovnim karakteristikama čvrstoće i krutosti materijala uz dobru postojanost na temperaturi promjene (ugljenična vlakna do 930°C), dok smola određuje postojanost materijala na topotu, vlagu, zapaljivost te električna svojstva.

U tabeli 1. dat je pregled mehaničkih svojstava kompozitnih materijala od ugljeničnih i armidnih vlakana.

*Prof. dr Ante Mišković, dipl. ing.  
Mašinski fakultet Mostar  
M. Maslać, dipl. ing., Vazduhoplovna industrija "SOKO",  
Mostar*

Tabela 1.

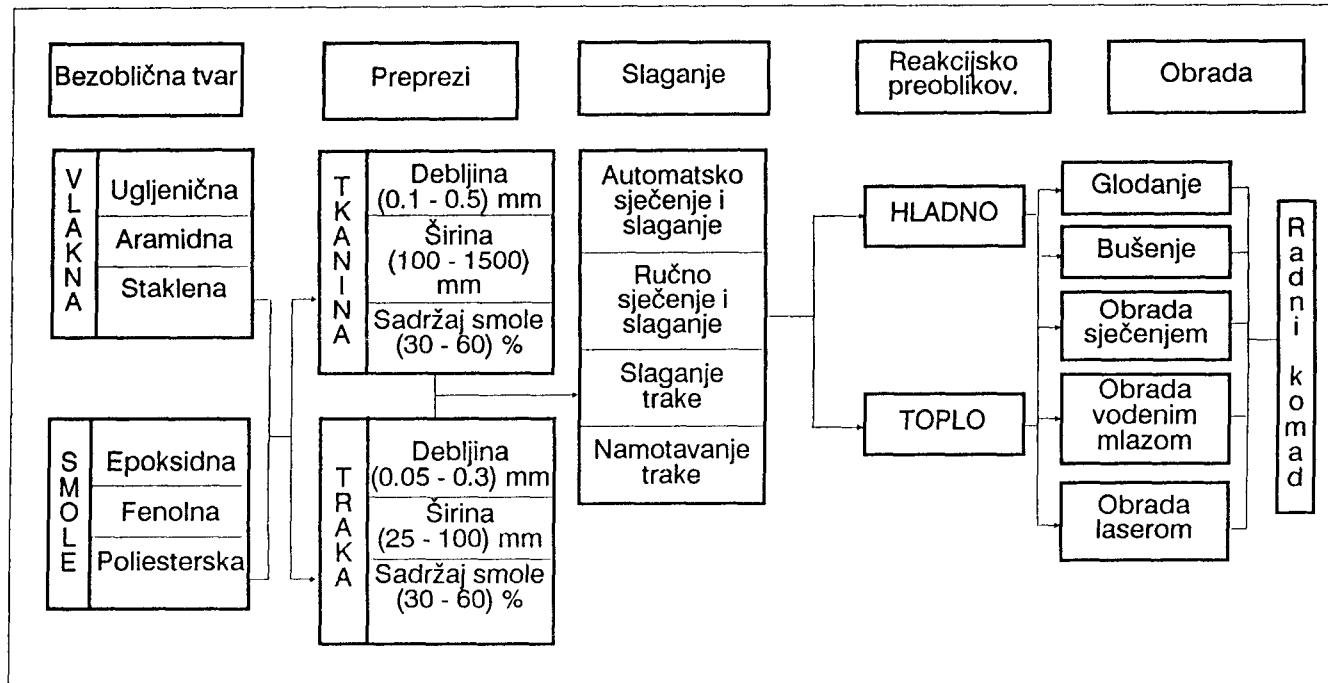
Materijal vlakna	Maseni deo vlakna %	Gustoća $\rho$ g/cm <sup>3</sup>	Modul elastičn. E N/mm <sup>2</sup>	Naprez. na istez. $\sigma_m$ N/mm <sup>2</sup>
Ugljenični a vlakna	Visoke čvrstoće	65	1.58	135000
	Visokog modula elastičn.	65	1.61	400000
Aramidna vlakna (REVLEAR*49)	65	1.38	85000	1400

Rezultati u tabeli 1. dobijeni su ispitivanjem uzoraka u obliku ploče, načinjenog od epoksidne smole i ugljeničnih, odnosno armidnih vlakana.

Epruvete su bile opterećene u pravcu vlakna. Iz tabele se može vidjeti da su mehanička svojstva ovih vlakana izvanredna, pogotovu kada se svode na jedinicu mase. To i jeste glavni razlog njihove sve veće primjene u savremenim vazduhoplovnim konstrukcijama.

## 3. KARAKTERISTIKE PROCESA OBRADE I GREŠKE NA RADNOM KOMADU PROUZROKOVANE PROCESOM OBRADE

Imajući u vidu strukturu kompozitnog materijala i složene popratne pojave u procesu rezanja (tačaka topljenje smole od 160°C, a prekidna čvrstoća i do 1500 N/mm<sup>2</sup>), može se zaključiti da se radi o složenom procesu rezanja. Pri tome još treba dodati da se radi o materijalu niske topotne provodljivosti, te pri procesu odvajanjem čestice postoje dosta realne mogućnosti njegovog pregrejavanja, odnosno pregrijavanja smole. Upotreba rashladnih sredstava u procesu obrade, u klasičnom smislu, se ne primjenjuje. Pri procesu obrade, kao otpadak (strugotina), javlja se prašina, koja pored abrazivnog dejstva ima i toksično i koju treba ukloniti istovremeno sa njenim nastajanjem, a radnik pri obradi treba koristiti odgovarajuća zaštitna sredstva.

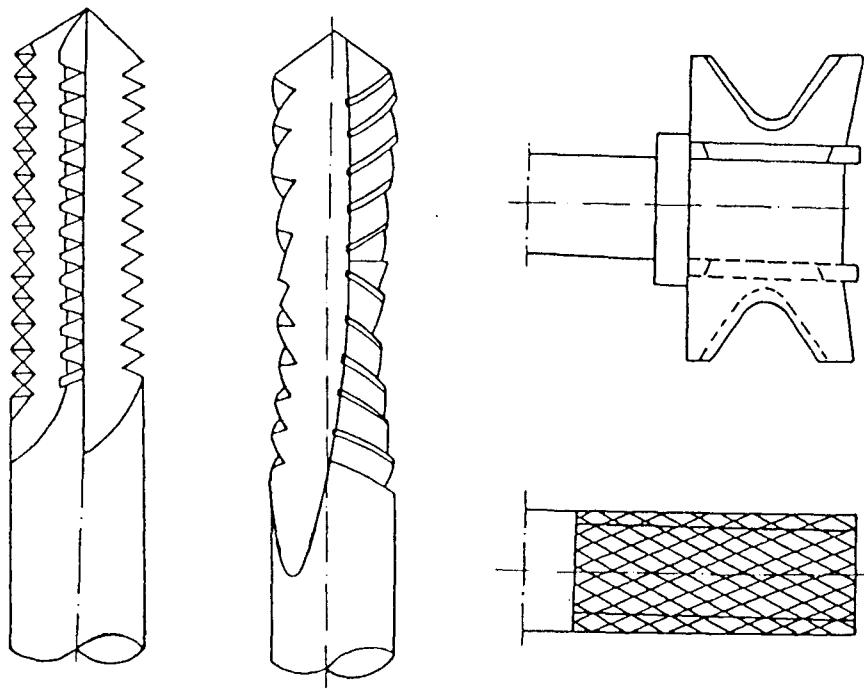


Sl. 1. Šematski prikaz procesa izrade kompozitnih elemenata

Radi loše topotne provodljivosti kompozitnog materijala, skoro svu topotu, stvorenu u procesu obrade, odvodi alat. Usljed niske tačke topljenja smole dolazi do ljepljenja smole i skinutih čestica vlakana na rezni alat, a time do promjene njegove geometrije i gubitka rezne sposobnosti. Pri opisanim uslovima obrade opisanog kompozitnog pripremka, neminovne su u većoj ili manjoj meri greške, odnosno odstupanja u pogledu tačnosti izrade i kvaliteta obradene površine. Obzirom na materijal (vrsta vlakana) i greške se donekle razlikuju. Naime, aramidna vlakna imaju vrlo nisku pritisnu čvrsoću, te se

uslijed otpora rezanja lako savijaju na obradivanim ivicama radnog komada. Ovakva pojava na ivicama radnog komada je pahuljičenje ili rutanje. Analogno na ivicama radnog komada od ugljeničnih vlakana karakteristična je pojava krzanja vlakana i odlamanja. Zajednička greška kod obje vrste materijala je pojava delaminacije ili raslojavanje polimerizanih slojeva platna, a nastaje uglavnom uslijed otpora što ga pruža materijal pri prodiranju reznog klina u procesu obrade.

Pojava pregrejavanja pri obradi rezanjem, zbog koje dolazi do progrevanja smole, očekuje se pri neadek-



Sl. 2. Izgled glodalja za obradu "KEVLARA" ◊ The milling cutters for cutting "KEVLARA" ◊ Фреза для резания "КЕВЛАРА"

vatno izabranim parametrima obrade ili kao posledica greške formiranja materijala. Tipične greške pri obradi kompozitnih komada dobijenih i pri eksperimentalnom radu su:

- Rutanje - armidna vlakna;
- Krzanje i odlamanje - ugljenična vlakna;
- Deliminacija - aramidna i ugljenična vlakna.

Navedene greške treba očekivati pri skoro svim operacijama obrade odvajanjem čestica i za njihovo sprečavanje ili otklanjanje potrebno preduzeti prevetivne mere ili dodatne radne operacije njihovog otklanjanja.

#### 4. IZBOR SREDSTAVA RADA I REŽIMA OBRADE

Izbor sredstava rada, odnosno opreme za obradu kompozitnih materijala (ugljenična i aramidna vlakna) zavisi od obradivog materijala i zahtjevanog kvaliteta obradivog dijela. Uglavnom, za sve operacije obrade odvajanjem čestica koriste se mašine sa dosta naglašenim radnim karakteristikama, naročito u pogledu brzine rezanja, mogućnosti izbora odgovarajućeg posmaka, kao i sa odgovarajućim priključnim uredajima za odvajanje prašine.

Pri obradi elemenata od kompozitnog materijala pogodne su ručne mašine sa pneumatskim pogonom.

Za konturnu obradu prostora zakriviljenih dijelova dosta je efikasno koristiti mašinu sa vodenim mlazom. Imajući u vidu predhodne napomene o uslovima pod kojima se odvija proces obrade, neminovno se nameće potreba za posebnim zahtjevima, koji se postavljaju pred rezne alate, kako u pogledu alata, tako i njegove rezne geometrije. Ovakve zahtjeve može da zadovolji rezni alat izrađen od tvrdog metala, polikristalnog dijamanta, te alati sa dijamantnim i karbidnim prevlakama. Takođe se u nekim slučajevima može koristiti i alat od bronzanog čelika, ali

Tabela 2. Preporučene vrijednosti režima obrade glodnjem pri obradi kompozitnih materijala

Vanjska obrada (konturno glodanje)	Kompozit-ugljenična vlakna		
	Materijal alata	Brzina rezanja [m/min]	Brzina pomoćnog kretanja [mm/min]
RM K10	80 - 130	200 - 700	
Kompozit-aramidna vlakna			
Materijal alata	Brzina rezanja [m/min]	Brzina pomoćnog kretanja [mm/min]	
TM (K10)	260 - 400	400 - 800	

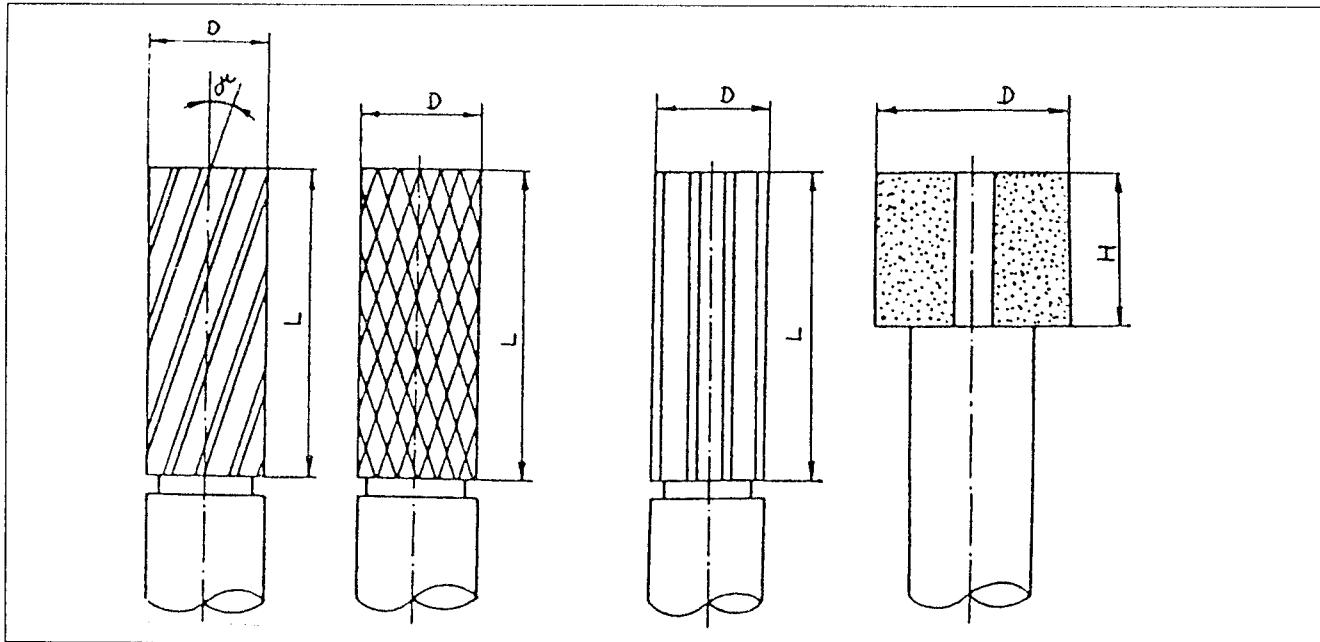
uz odgovarajući režim obrade i uz malu postojanost sječiva alata [1].

Geometrija reznog dijela, pored određenih faktora obrade, ima također presudan značaj na kvalitet obrade ovog materijala. Dobro definisana geometrija reznog alata podrazumeva pravilno određivanje uglova sječiva te njihov oblik i raspored. Na slici 2 dati su oblici reznog alata za obradu epoksidnih kompozitnih pripremaka sa ugljeničnim i aramidnim vlaknima, a u tabeli 2 režimi obrade.

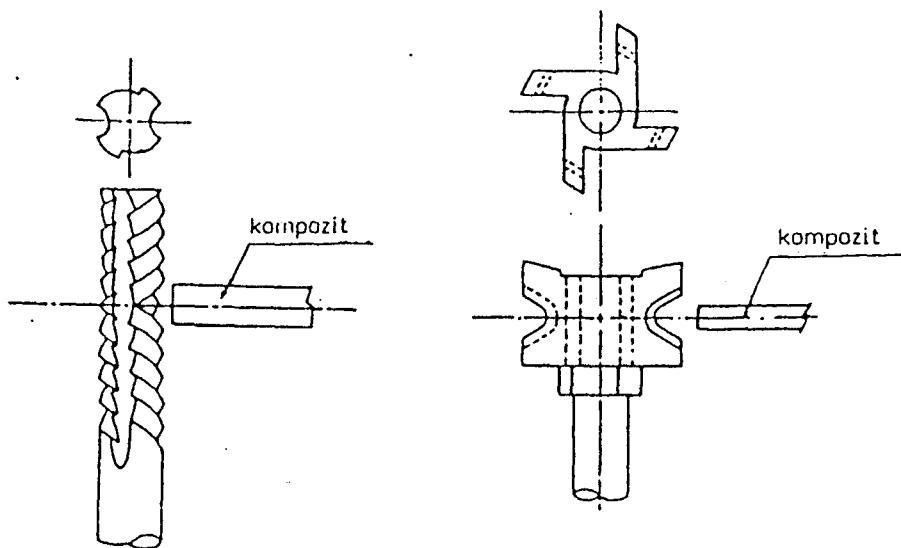
#### 5. ZAKLJUČAK

Na osnovu iznijetog može se zaključiti da pouzdanost rada alata zavisi od kvaliteta alata i načina eksploatacije. Primjena kompozitnih materijala od ugljeničnih i aramidnih vlakana u izgradnji dijelova vazduhoplova i šire ograničena je nemogućnošću izrade dijelova u određenoj kvaliteti postojećim tehnološkim sredstvima i uobičajenim postupcima.

Za efikasnu izradu dijelova od ovih materijala neophodno je vršiti daljnja istraživanja procesa obrade odv



Sl. 3. Izgled glodala za obradu ugljeničnih kompozita ◊ The end milling cutter for machining composite materiala ◊ Фреза для резания композита



*Sl. 4. Položaj predmeta obrade "KEVLARA" u odnosu na alat i toku procesa obrade ◊ The machining process of composite material "KEVLARA" ◊ Процесс резания "КЕВЛАРА"*

janjem čestica i taj proces optimirati izborom sredstava rada i režima obrade. Posebnu pažnju treba posvetiti izboru materijala i geometrije alata.

Obzirom na geometrijsku složenost dijelova neophodno je raditi na razvoju novih postupaka za obradu kompozitnih materijala na bazi ugljeničnih i aramidnih vlakana.

#### LITERATURA

- [1] SCHWARTZ M. M., Composite Materials Handbook Mc Graw-Hill, New York, 1984, 645.
- [2] Advanced composites fabrication information, document N° D6-45055, Boeing, SAD, 8, 1986, 45.
- [3] Fibre composites: Design, Manufacture and Performance, University of Cambridge, 14 N° 2, 1983, 87-91.
- [4] High quality holes in composite and metal matrix materials, World aerospace profile, London, 1988, 127-129.
- [5] MASLAĆ M., MIŠKOVIĆ A., Izbor alata i režima rada pri obradi odvajanjem čestica polimernih vlaknastih kompozita. Zbornik radova sa savjetovanja "Vlaknima ojačani polimerni kompoziti" Beld, 1989.
- [6] MASLAĆ M., MIŠKOVIĆ A., Prilog studiji o obradivosti kompozitnih materijala na bazi ugljeničnih i aramidnih vlakana. Zbornik radova, VI Soko, Mostar, 1989.
- [7] PEYRONY M. P., Structures Fibres sur Mirage 2000 et Mirage 4000. 14-e Congress International Aeronautique, Paris, 1979

## Some Possibilities of Composite Materials Contour Processing

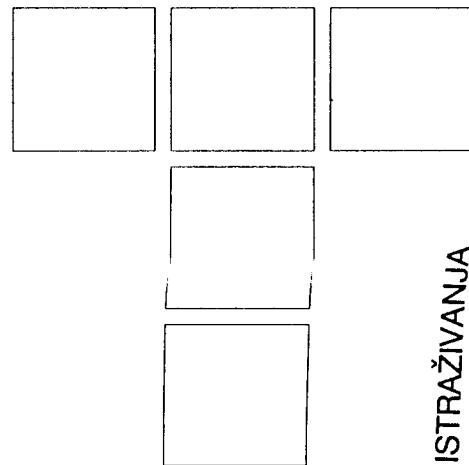
*Composite material cutting treatment, regarding structure and forming type, requires considerably different conditions than the conditions provided during conventional material machining. The results of theoretical and experimental researches of composite materials machinability are given in this work. Results are referred to the selection of tools and regimes for composite materials contour treatment.*

## Некоторые из возможностей контурной обработки композиционных материалов

*Обработка резанием композиционных материалов из-за структуры и способа формирования требуют условия обработки, существенно отличающиеся от условий обработки стандартных материалов. В работе изложены результаты теоретических и экспериментальных исследований обрабатываемости композиционных материалов. Приведенные результаты относятся к выбору инструмента и режимов контурной обработки композиционных материалов.*

**S. SEKULIĆ**

# Vrednovanje reznih alata zasnovano na verovatnosnom principu



ISTRŽIVANJA

## 1. UVOD

Izbor i nabavka reznog alata predstavlja značajan izdatak, jer njegovim pravilnim izborom utičemo na produktivnost i ekonomičnost proizvodnje.

Za obavljanje neke operacije možemo primeniti različite alate, ili iste, ali od različitih proizvodača, koji se međusobno razlikuju po kvalitetu i ceni.

Da bi smo objektivno odredili kvalitet i ekonomsku opravdanost izbora neophodno je sa određenom rezervom prihvatići podatke o postojanosti koje daju proizvodači alata. U cilju provere i dobijanja realnih vrednosti o kvalitetu pojedinih alata, iz šireg izbora, najpogodnije je pratiti otkaze reznih alata na osnovu broja obradjenih obradata na posmatranoj operaciji, pri čemu je neophodno istim vrstama alata izvršiti ponovljena opažanja otkaza. Broj opažanja mora biti  $N > 5$ , da bi se mogla izvršiti statistička obrada dobijenih vrednosti.

Kao što je poznato, u zavisnosti od veličine uzorka ispitivanje je statistički reprezentativno ukoliko je  $N > 50$ , ali se i za 5 N 50 može odrediti funkcija raspodele otkaza.

Za tehničke sisteme, i za rezni alat, u primeni je Weibull-ova raspodela

$$F(t) = 1 - \exp[-(t/\eta)^\beta] \quad \dots \quad (1)$$

Kada je poznata funkcija raspodele, pouzdanost se određuje kao komplent

$$R(t) = 1 - F(t) = \exp[-(t/\eta)^\beta] \quad \dots \quad (2)$$

a frekvenca i intezitet otkaza iznose

$$f(t) = dR(t)/dt = \beta/\eta \cdot (t/\eta)^{\beta-1} \exp[-(t/\eta)^\beta] \quad \dots \quad (3)$$

$$\lambda(t) = f(t)/R(t) = \beta/\eta \cdot (t/\eta)^{\beta-1} \quad \dots \quad (4)$$

i srednje vreme bezotkaznog rada

$$T_{sr} = \eta \cdot \Gamma(1/\beta + 1) \quad \dots \quad (5)$$

Parametri Weibull-ove raspodele  $\eta$  i  $\beta$  mogu se lako odrediti kada se za posmatrani broj istih alata N primene već poznate i detaljno razradene metodologije.

Predmet ovog rada je vrednovanje reznog alata za obavljanje neke operacije i zasniva se na više kriterijuma:

- troškovima alata po jedinici zapremine skinute strugotine
- glavnom (mašinskom) vremenu (proizvodnost)
- troškovima obrade
- troškovima alata.

## 2. ODREĐIVANJE MATEMATIČKIH TROŠKOVA ALATA

### 2.1 Troškovi alata po jedinici zapremine skinute strugotine

*Slučaj 1. - Alat koji se preoštrevaju*

Ako je srednje vreme bezotkaznog rada  $T_{sr}$  određeno po izrazu (5) i ako se alat može preoštiti  $i_o$  puta, onda je ukupna vrednost bezotkaznog rada do potpune amortizacije alata

$$T_u = (i_o + 1) \cdot T_{sr} \quad \dots \quad (6)$$

Zapremina skinute strugotine u jedinici vremena iznosi

$$V_1 = A \cdot v \quad \dots \quad (7)$$

( $A = \delta \cdot s$  - presek strugotine i  $v$  - brzina rezanja), a ukupna količina skinute strugotine do potpune amortizacije alata je

$$V_u = V_1 \cdot T_u = A \cdot v \cdot (i_o + 1) \cdot T_{sr} \quad \dots \quad (8)$$

---

Prof. dr Sava Sekulić, dipl. ing., Institut za industrijske sisteme  
Fakulteta tehničkih nauka, Novi Sad

Troškovi alata po jedinici zapremine skinute strugotine iznose

$$U_{AV1} = C_A / V_u = C_A / A \cdot v \cdot T_{sr} \cdot (i_o + 1) \quad \dots \dots \quad (9)$$

### Slučaj 2. - Alati sa izmenljivim reznim pločicama

Ukupna cena alata sa izmenljivim reznim pločicama, do potpune amortizacije držača, iznosi

$$C_{AIP} = C_D + k \cdot C_P \quad \dots \dots \dots \quad (10)$$

( $C_D$  - cena držača i rezervnih delova,  $C_P$  - cena izmenljive pločice i  $k$  - broj pločica koje se zatupe do potpune amortizacije držača).

Ako je  $f$  broj stezanja izmenljivih pločica do potpune amortizacije držača i  $x$  broj sečiva na reznoj pločici, onda je:

$$k = f/x \quad \dots \dots \dots \quad (11)$$

Zapremina skinute strugotine u jedinici vremena obrade se određuje po obrascu (7), a ukupna zapremina strugotine, u ovom slučaju, iznosi

$$V_u = V_1 T_u = A v x k T_{sr} \quad \dots \dots \dots \quad (12)$$

jer je, za ovaj slučaj, ukupno vreme bezotkaznog rada

$$T_u = f T_{sr} = x k T_{sr} \quad \dots \dots \dots \quad (13)$$

U ovom slučaju troškovi alata po jedinici zapremine skinute strugotine iznose

$$U_{AV1} = C_{AIP} / V_u = (C_d + k C_p) / A v x k T_{sr} \quad \dots \quad (14)$$

### 2.1.1 Primena izvedenih matematičkih modela u cilju vrednosnog rangovanja alata

Kriterijm za rangovanje predstavljen odnosom

$$U_{AV1} = (C_A / V_u)_{\min} \quad \dots \dots \dots \quad (15)$$

kazuje da je viši u rangu onaj alat kojim se ostvaruje niži troškovi alata po jedinici zapremine strugotine.

Mogući primeri:

**Primer 1. Rangovanje dva ili više istih alata koji se preostavljaju (od brzoreznog čelika ili sa zalemnjanim pločicama od tvrdog metala različitih proizvođača)**

Obzirom da je u pitanju ista operacija, obrada se izvodi pri istom režimu obrade ( $A = \delta s = \text{const.}$  i  $v = \text{const.}$ ), istim alatima ( $i_o = \text{const.}$ ), ali su različite cene pojedinih alata  $C_{Ai}$  i njima pripadajuće srednje vrednosti bezotkaznog rada  $T_{sr}$ .

Na osnovu izraza (9) sledi da su troškovi po jedinici zapremine skunute strugotine proporcionalni sa odnosom  $C_{Ai}/T_{sr}$  tj.

$$U_{AV1} = K \cdot (C_{Ai} / T_{sr}) \quad \dots \dots \dots \quad (16)$$

gde je:  $K = 1/A \cdot v \cdot (i_o + 1)$  a:  $A, v, i_o$  konstante,

pa je viši u rangu, odnosno bolji, onaj alat koji ima manju vrednost odnosa

$$(C_{Ai} / T_{sr})_I < (C_{Ai} / T_{sr})_{II} < \dots < (C_{Ai} / T_{sr})_N$$

$$i = 1, 2, 3, \dots, i, \dots, N; I = I, II, III, \dots, I, \dots, N$$

**Primer 2. Rangovanje dva ili više alata iste namene, od različitih alatnih materijala, koji se preostavljaju (npr. alati od brzoreznog čelika i sa zalemnjanim pločicama od tvrdih metala)**

U ovom slučaju isti je samo presek strugotine  $A = \delta s = \text{const.}$ , pa iz izraza (9) sledi da se postiže niži troškovi sa alatom koji ima manju vrednost

$$C_{Ai} / v_i \cdot T_{sr} \cdot (i_{oi} + 1) \quad \dots \dots \dots \quad (17)$$

pa se na osnovu toga i rangiraju.

**Primer 3. Rangovanje dva ili više alata sa izmenljivim reznim pločicama**

I u ovom slučaju je isti samo presek strugotine  $A = \beta s = \text{const.}$ . Troškovi alata po jedinici zapremine skinute strugotine izračunavaju se po izrazu (14) i mešovito se rangiraju. Prvi u rangu, u ovom slučaju, je onaj alat koji ima minimalne troškove po jedinici zapremine skinute strugotine.

**Primer 4. Rangovanje dva ili više alata od kojih se neki preostavljaju, a ostali su sa izmenljivim reznim pločicama**

I u ovom slučaju je isti samo presek strugotine  $A = \beta s = \text{const.}$ . Troškovi alata po jedinici zapremine skinute strugotine izračunavaju se po izrazima (9) i (14) i mešovito se rangiraju tako da je, u ovom slučaju, prvi u rangu onaj alat koji ima minimalne troškove po jedinici zapremine skinute strugotine.

Analiza prethodnih primera ukazuje da se rangovanje kao isključivi pokazatelj može koristiti za poređenje pojedinih alata samo pri režimu obrade ( $A = \delta s = \text{const.}$  i  $v = \text{const.}$ ). Međutim, kada se menja, npr. brzina rezanja v što je najčešći slučaj, pri poređenju alata od različitih alatnih materijala, tada rangovanje isključivo vodi računa o troškovima alata, pa optimalni izbor mora voditi računa o funkciji cilja optimizacije, npr. na osnovu ukupnih troškova obrade na posmatranoj operaciji  $U_O$ , a koji se sastoje iz troškova radne snage  $R$ , troškova mašine  $M$  i troškova alata  $A$ , tj.

$$U_O = R + M + A \quad \dots \dots \dots \quad (18)$$

### 2.2 Matematički modeli ukupnih troškova obrade operacije

Troškovi radne snage iznose:

$$R = n \cdot k_1 \cdot (t_g + t_a + t_p + t_m + t_i) \quad \dots \dots \dots \quad (19)$$

gde su:

$n$  - koeficijent učešća radnika ukoliko opslužuje više mašina

$$n = 1 + \frac{k_3}{k_1} \cdot \frac{N_1}{N_2} \quad \dots \dots \dots \quad (20)$$

$k_1$  - bruto lični dohodak radnika,

$t_g$  - glavno (mašinsko) vreme,

$t_a$  - vreme zamene alata svedeno na jedan obradak

$$t_a = t_z t_g / T$$

$t_p$  - pomoćno vreme,

$t_m$  - međuvreme,

$t_i$  - izgubljeno vreme i

$T$  - postojanost alata.

Troškovi mašine i pribora:

$$M = (t_g + t_a + t_p + t_m + t_i) \cdot \frac{C_M \cdot p}{F \cdot \eta \cdot 100 \cdot 60} \quad \dots \dots \quad (21)$$

gde je:  $C_M$  - cena mašine i pribora na posmatranoj operaciji,

$p$  - amortizaciona stopa,

$F$  - godišnji fond vremena mašine i

$\eta$  - stepen iskorišćenja mašine.

Troškovi alata za alate koji se preoštrevaju iznose:

$$A = A_1 + A_2 + A_3 \quad \dots \dots \dots \quad (22)$$

gde su:

• troškovi zamene alata:  $A_1 = n k_1 t_z t_g / T$

• troškovi oštrenja:  $A_2 = k_2 t_2 t_g / T$

$k_2$  - bruto lični dohodak oštrača

$t_2$  - vreme potrebno za oštrenja alata

• cena alata svedena na jedan obradak:

$$A_3 = \frac{C_A \cdot t_g}{(i_0 + 1) \cdot T} + \frac{C_{PA}}{n_0}$$

gde su:  $C_A$  - cena novog alata,

$i_0$  - broj oštrenja i

$n_0$  - broj obradka koji se mogu obraditi jednim priborom

Tako su ukupni troškovi alata koji se preoštrevaju za jednu operaciju:

$$\left( n \cdot k_1 \cdot t_1 + k_2 \cdot t_2 + \frac{C_A}{i_0 + 1} \right) \cdot \frac{t_g}{T} + \frac{C_{PA}}{n_0} \quad \dots \dots \quad (22')$$

Troškove alata sa izmenljivom reznom pločicom, svedene na jedan obradak, čine:

• troškovi zamene, odnosno, stezanja pločice nakon zatupljenja pojedinih rezanih ivica (sečiva)

$$A_1 = n \cdot k_1 \cdot t_z \cdot t_g / T$$

• troškovi oštrenja:  $A_2 = A_{O\ddot{S}} = 0$

• troškovi amortizacije alata:

$$A_{3IP} = [(C_D + k \cdot C_p / k \cdot x) t_g / T] = (C_D + k \cdot C_p) t_g / k \cdot x \cdot T$$

pa je:

$$A = [n \cdot k_1 \cdot t_z + (C_D + k \cdot C_p) / kx] t_g / T \quad \dots \dots \quad (22'')$$

Zamenom pojedinih troškova za ukupne troškove za operaciju dobijamo

$$U_o = E \left[ B + t_g \cdot \left( 1 + \frac{t_z + G}{T} \right) \right] \quad \dots \dots \dots \quad (23)$$

gde je:  $B = t_p + t_m + t_{pz} + t_i = const.$

$$E = \left( n \cdot k_1 + \frac{C_m \cdot \eta}{F \cdot \eta \cdot 100 \cdot 60} \right)$$

$$G = \left( k_2 \cdot t_2 + \frac{C_A}{i_0 + 1} \right),$$

za alate koji se preoštrevaju, odnosno:

$$G = (C_D + k \cdot C_p) / k \cdot x,$$

za alate sa izmenljivim reznim pločicama, koji se ne preoštrevaju.

Proračun troškova se najčešće provodi tablično.

#### Konkretni primer

U cilju ekonomskog vrednovanja i rangovanja, pri uzdužnoj obradi na strugu korišćeni su sledeći alati sa izmenljivim reznim pločicama:

1. tvrdi metal K10;
2. tvrdi metal sa prevlakom K10+TiC i
3. keramika.

Materijal obradka je bio SL 30 (sa lamelastim grafitom). Relativni podaci za identifikaciju alata dati su u tablici 1., a proračun je sproveden u tabeli 2.

Tabela 1.

i	Vrsta pločice	$\gamma^\circ$	$\alpha^\circ$	$\lambda^\circ$	$\kappa_t^\circ$	$\varepsilon_t^\circ$	r mm
1	K10	6	5	0	70	90	0.8
2	K10+TiC	6	5	0	70	90	0.8
3	Keramika	-6	6	-6	70	90	0.8

Brojne vrednosti za proračun:

$i = 1$ ,  $t_p = 0.3 \text{ min}$ ,  $T_{pz} = 15 \text{ min}$ ,  $t_m = t_i = 0$ ,

$t_z = 1 \text{ min}$ ,  $z = 1000 \text{ kom}$ ,  $C_M = 3.57 \cdot 10^6 \text{ din}$ ,

$p = 5\%$ ,  $n = 1$ ,  $k_1 = 0.905 \text{ din/min}$ ,  $B = 15.3 \text{ min}$ ,

$E = 1.947$ ,  $G = F(C_p) = const.$ ,  $C_D = 1117.85 \text{ din}$ ,

$C_{PK10} = 22.10 \text{ din}$ ,  $C_{PK10+TiC} = 91.70 \text{ din}$ ,

$C_{PKer} = 214.45 \text{ din}$ ,  $f = 80000$ ,  $x = 8$ ,  $k = 10000$ .

Kako se iz tabele 2. vidi, prvi u rangu po osnovi troškova alata po jedinici zapremine skinute strugotine je alat sa pločicom od tvrdog metala K10, drugi sa pločicom od tvrdog metala sa prevlakom K10+TiC i treći sa pločicom od keramike. Međutim, po osnovi glavnog (mašinskog) vremena obrade i ukupnih troškova obrade prvi u rangu je alat sa pločicom od keramike, drugi sa prevučenom poločicom od tvrdog metala i treći sa pločicom metala, ali po osnovi troškova alata prvi je u rangu alat sa prevučenom pločicom od tvrdog metala, drugi sa pločicom od tvrdog metala i treći sa keramičkom pločicom.

### 3. ZAKJLJUČAK

Na osnovu napred izloženog može se zaključiti da je u cilju postizanja ekonomične primene reznih alata korisno izvršiti njihovo rangovanje na osnovu sledećih kriterijuma:

- troškova alata po jedinici zapremine skinute strugotine,
- glavnog (mašinskog) vremena obrade,
- troškova obrade, i
- troškova alata,

a konačna odluka koji će se od kriterijuma primeniti zavisi od uticaja okruženja, iz napomenu da je neophodno koristiti realne podatke o troškovima radne snage mašine i alata i vremenu njegovog bezotkaznog rada dobijenog na osnovu praćenja broja obrađenih obradaka do pojave otkaza i njihovom obradom, primenjujući savremene tehnike teorije pouzdanosti.

### LITERATURA

- [1] SEKULIĆ S., Određivanje pouzdanosti reznog alata skraćenim postupkom, Zbornik radova XVII Savetovanja proizvodnog mašinstva Jugoslavije, Budva, 11-16.
- [2] SEKULIĆ S., Metodologija za određivanje pouzdanosti reznog alata, Zbornik radova Fakulteta tehničkih nauka, Novi Sad, 1983., 14.
- [3] SEKULIĆ S., Grafički postupak za određivanje pouzdanosti reznog alata zasnovan na broju obradaka obrađenih pojedinim alatima, Zbornik radova XIX Savetovanja proizvodnog mašinstva Jugoslavije, Kragujevac, 1985.
- [4] SEKULIĆ S., Predlog načina prikupljanja podataka o postojanosti alata u proizvodnim uslovima i njihova obrada, Zbornik radova Proizvodne tehnologije, Beograd, 1986.
- [5] IVKOVIĆ B., Struktura troškova proizvodnje u obradi metala, Mašinski fakultet, Kragujevac, 1974

## Evaluation of Cutting Tools Based on Probability Approach

*For performing some operation, different or the same tools bat from different manufacturers may be applied and the differs among themselves in qility and price. To determine objectively the quality and economic justification of choice of cutting tools, for performing some operation, in this paper its evaluation is given, based on developed mathematical models of cutting tool costs for volumene units of cheap, cutting time (productivity), machining costs, and tool costs.*

*Cutting tools from the same or different tool materials, the ones which are sharpened as well as the ones that aren't, and other possible combinations, are included in the analyses for the purposes of comparision. In the paper there is also given an example of evaluation and ranking of tools with changeable cutting inserts:*

*1. Tungsten carbide insert K10    2. Tungsten carbide insert with coating K10+TiC and    3. ceramics, during longitudinal turning, grey cast iron SL 30.*

*First in rank on the basis of tool costs for volumene units of cheap are tools with tungsten carbide inserts K10, but on the basis of machining time and total macining costs the tools with ceramic inserts are on the first place. However, on the basis of tool costs, tools with tungsten carbide inserts and coating K10+TiC are first in rank.*

## Оценка режущего инструмента основана на вероятностном подходе

Для выполнения некоторой из операций могут быть применены различные режущие инструменты или те же самые, но от различных изготовителей, отличающиеся между собой по качеству и себестоимости. Чтобы объективно определить качество и экономическую справедливость выбора режущего инструмента для выполнения некоторой операции в настоящей работе дается оценка обоснована на развитых математических моделях себестоимости режущего инструмента по единице стружки, главном (машинном) времени (производительность), себестоимости обработки и себестоимости режущего инструмента.

С целью сравнения анализ охватывает режущий инструмент из тех же или различных инструментальных материалов, как тех, которые перетачиваются, так и тех, которые не перетачиваются. При этом приведены возможные комбинации. В работе изложен пример оценки и ранги режущего инструмента с измененными пластинками: 1. твердый сплав K10; 2. твердый сплав с покрытием K10+TiC и 3. керамика, при продольном точении серого чугуна СЛ 30.

Первый в ранге, по себестоимости режущего инструмента по единице снятой стружки, является режущий инструмент с пластинкой из твердого сплава K10. Между тем, по основе главного (машинного) времени обработки и себестоимости режущего инструмента первый ранг принадлежит режущему инструменту из керамики, но по основе себестоимости первым является режущий инструмент из твердого сплава с покрытием K10+TiC.