

DOI:10.12737/article_5a5dbf0a212868.61342001

Пчёлкин В.М., аспирант,
Дуюн Т.А., д-р техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ ТВЕРДОСПЛАВНЫХ ПЛАСТИН С МНОГОСЛОЙНЫМИ ПОКРЫТИЯМИ В РАЗЛИЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ ТОЧЕНИЯ ЖАРОПРОЧНОЙ СТАЛИ

pvm0106@mail.ru

Представлены результаты экспериментальных исследований износостойкости твердосплавных пластин с многослойными износостойкими покрытиями, полученными разными технологическими способами: химическим парофазным осаждением и напылением конденсацией из паровой (газовой) фазы при точении коррозионностойкой жаропрочной стали 08X18H10T. Эксперимент проводился в условиях промышленного предприятия с использованием действующего оборудования, оснастки и инструмента. Износостойкость пластин исследовалась в экстремальных технологических условиях: точении с ударом и точении без охлаждения. Разработаны эмпирические модели износостойкости с использованием планирования первого порядка методом полнофакторного эксперимента. Исследовалось влияние технологических параметров резания: подачи режущего инструмента, скорости резания и глубины. Выявлены особенности износа, период стойкости разных марок твердосплавных пластин, установлено влияние исследуемых технологических режимов точения на процессы износа, выполнен анализ микроструктуры режущих пластин после воздействия тепловых, силовых и ударных нагрузок процесса резания. Разработанные эмпирические модели позволяют обеспечивать заданные параметры стойкости инструмента в различных технологических условиях на основе обоснованного назначения технологических режимов, прогнозировать работоспособность инструмента, оптимизировать технологические параметры с целью повышения производительности, снижения себестоимости изготовления деталей.

Ключевые слова: эмпирическая модель износостойкости, точение коррозионностойкой жаропрочной стали, стойкость твёрдосплавного инструмента, планирование эксперимента, результаты микроисследования режущих пластин.

Введение. Коррозионностойкие жаропрочные стали находят широкое применение в качестве конструкционных материалов изделий, работающих при высоких температурах и в агрессивных средах, таких как теплообменники, трубы, сварная аппаратура и другие детали [1]. В соответствии с физико-механическими свойствам эти стали относятся к труднообрабатываемым [2]. При механической обработке труднообрабатываемых материалов возникают проблемы, связанные с высокой температурой резания и интенсивным износом режущего инструмента [3], поэтому определение рациональных режимов резания, повышающих период стойкости металлорежущего инструмента является важной научной задачей.

Методика. При разработке эмпирических моделей применялась методика планирования полнофакторного эксперимента первого порядка [4]. В производственных условиях предприятия ОАО «Ракитянский Арматурный Завод» был выполнен эксперимент с использованием действующего оборудования, инструмента и технологической оснастки: токарного обрабатывающего центра для условий работы с ударными нагрузками модели PUMA480LM, токарного резца со

сменной многогранной пластиной из твердого сплава, состоящий из державки PWLNR2020K08 и пластины со специальной геометрией стружколома, позволяющей исключить налипание металла на кромку инструмента и сохранить высокую износостойкость. Твердосплавные пластины имели покрытия, полученные разными технологическими способами: химическим парофазным осаждением ультра-мелкозернистого покрытия на прочную градиентную основу и напылением конденсацией из паровой (газовой) фазы:

- пластина WNMG080408-MMKMM253 с покрытием CVD (Chemical Vapor Deposition) (рис. 1),

- пластина WNMG080408-MMKMG203 с покрытием PVD (Physical Vapour Deposition) [5–6].



Рис. 1. Внешний вид пластины WNMG080408-MM

В качестве измерительного инструмента применялась лупа измерительная ГОСТ 25706-83. В качестве критического значения принято 0,3 мм износа по задней поверхности. Измерение износа производилось после каждого прохода [7].

Основная часть. При планировании принят полнофакторный эксперимент. В качестве исследуемых технологических параметров приняты

подача режущего инструмента, скорость резания и глубина. Уровни и интервалы варьирования факторов, матрица эксперимента представлены в табл. 1 [8]. Эксперимент проводился для двух технологических условий: точение с ударом и охлаждением, точение без удара и без охлаждения [9].

Таблица 1

План эксперимента и результаты опытов

№ опыта	Варьируемые факторы			Стойкость при точении с ударом, мин		Стойкость при точении без удара, мин	
	Скорость резания V_c , м/мин	Подача f_n мм/об	Глубина резания a_p мм	Сплав КММ253	Сплав КМГ203	Сплав КММ253	Сплав КМГ203
1	30	0,06	1	80	200	48	34
2	90	0,06	1	57	57	24	16
3	30	0,16	1	13	53	32	26
4	90	0,16	1	6	14	16	10
5	30	0,06	2	62	153	37	26
6	90	0,06	2	44	41	18	12
7	30	0,16	2	10	39	24	20
8	90	0,16	2	5	10	12	8

Эмпирическую модель стойкости запишем в виде уравнения регрессии [10–11]:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{123}x_1x_2x_3 \quad (1)$$

Коэффициенты уравнения регрессии в соответствии с принятым планом эксперимента представлены в табл. 2, 3.

Таблица 2

Значения коэффициентов уравнения регрессии для точения с ударом

Коэффициент	b_0	b_1	b_2	b_3	b_{12}	b_{13}	b_{23}	b_{123}
Сплав КММ253	3,054	-0.285	-1.03	-0.124	-0.115	0.0102	0.004	0.011
КМГ203	3.832	-0.658	-0.688	-0.155	-0.015	-0.012	-0.006	0.004

Таблица 3

Значения коэффициентов уравнения регрессии для точения без удара

Коэффициент	b_0	b_1	b_2	b_3	b_{12}	b_{13}	b_{23}	b_{123}
Сплав КММ253	3.174	-0.356	-0.211	-0.137	-0.0004	-0.0027	0.0004	-0.0004
КМГ203	2.836	-0.426	-0.177	-0.129	-0.042	0.0015	0.0078	0.0082

Получаем эмпирические модели износоустойчивости в зависимости от скорости, подачи и глубины резания с натуральными значениями факторов: выражение (2) – точение с ударом для сплава КММ253, выражение (3) – точение с ударом для сплава КМГ203:

$$T(V, s, t) = 1,418 \cdot V^{-0,519} \cdot s^{-2,1} \cdot t^{-0,358} \quad (2)$$

$$T(V, s, t) = 234 \cdot V^{-1,19} \cdot s^{-1,404} \cdot t^{-0,447} \quad (3)$$

На рис. 2 представлены зависимости стойкости инструмента от технологических параметров при точении с ударом коррозионностойкой жаропрочной стали сплавом режущей пластины КММ253, а на рис. 3 аналогичные зависимости при точении сплавом КМГ203.

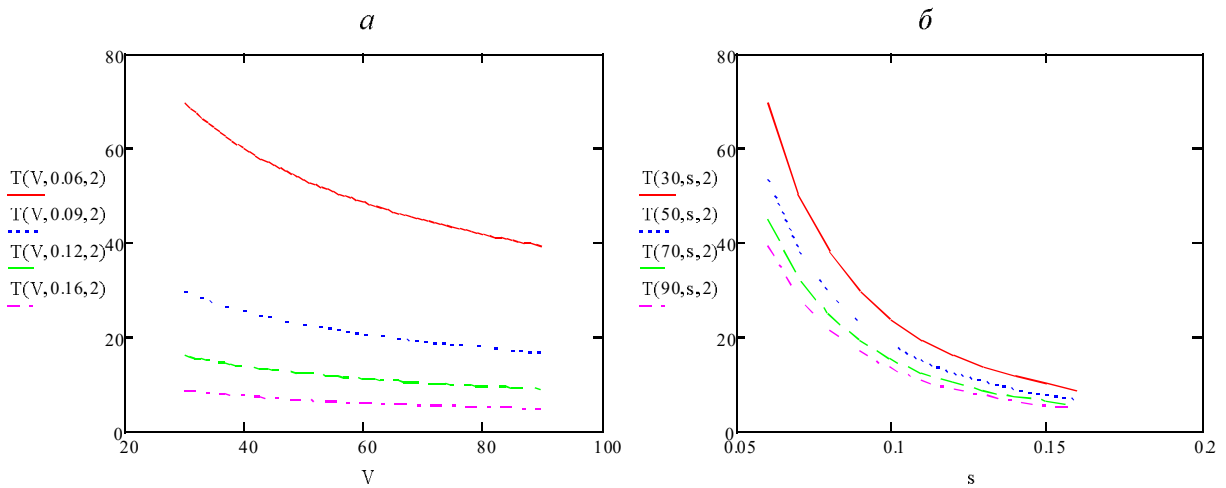


Рис. 2. Влияние технологических режимов на стойкость инструмента из сплава КММ253 при точении с ударом: *а* – зависимость от скорости резания при подачах 0,06 мм/об, 0,09 мм/об, 0,12 мм/об, 0,16 мм/об; *б* – зависимость от подачи при скорости 30 м/мин, 50 м/мин, 70 м/мин, 90 м/мин

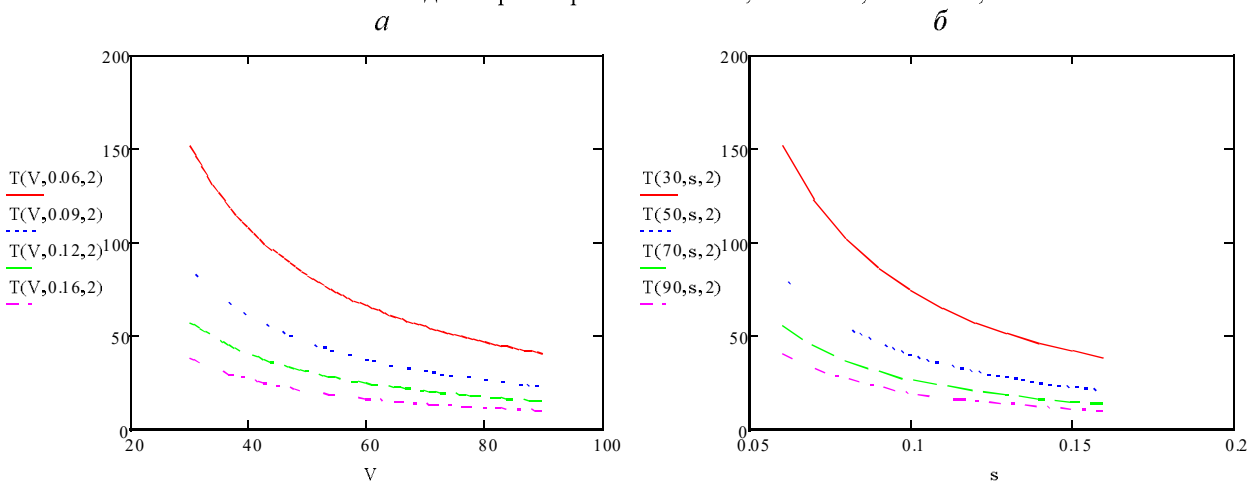


Рис. 3. Влияние технологических режимов на стойкость инструмента из сплава КМГ203 при точении с ударом [12] : *а* – зависимость от скорости резания при подачах 0,06 мм/об, 0,09 мм/об, 0,12 мм/об, 0,16 мм/об; *б* – зависимость от подачи при скорости 30 м/мин, 50 м/мин, 70 м/мин, 90 м/мин

Выражения (4) и (5) характеризуют стойкость при точении без удара и без охлаждения соответственно пластинами из сплава КММ253 и сплава КМГ203:

$$T(V, s, t) = 130,4 \cdot V^{-0,647} \cdot s^{-0,43} \cdot t^{-0,395} \quad (4)$$

$$T(V, s, t) = 179,5 \cdot V^{-0,775} \cdot s^{-0,36} \cdot t^{-0,373} \quad (5)$$

На рис. 4 и 5 представлены зависимости стойкости инструмента от скорости и подачи при точении без удара соответственно сплавом режущей пластины КММ253 и сплавом КМГ203.

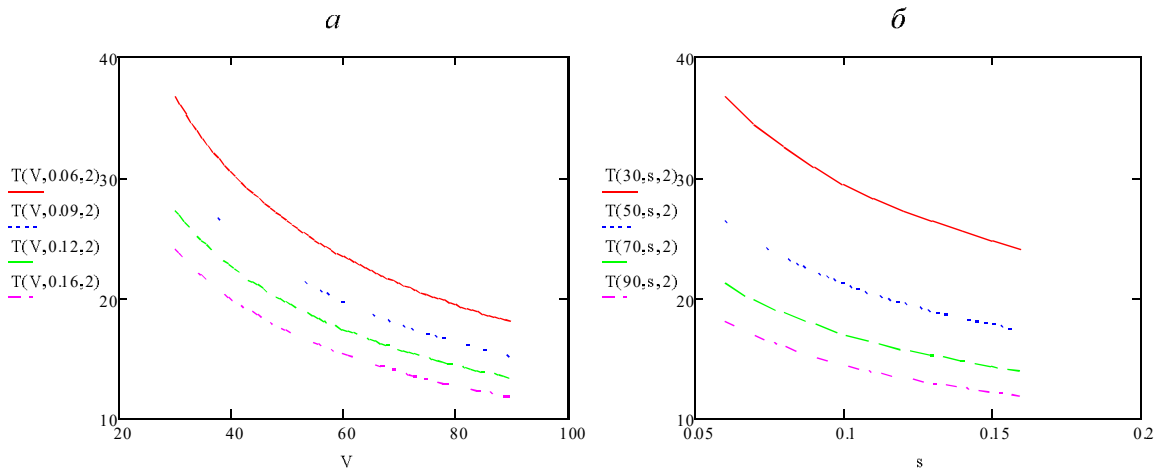


Рис. 4. Влияние технологических режимов на стойкость инструмента из сплава КММ253 при точении без удара: *а* – зависимость от скорости резания при подачах 0,06 мм/об, 0,09 мм/об, 0,12 мм/об, 0,16 мм/об; *б* – зависимость от подачи при скорости 30 м/мин, 50 м/мин, 70 м/мин, 90 м/мин

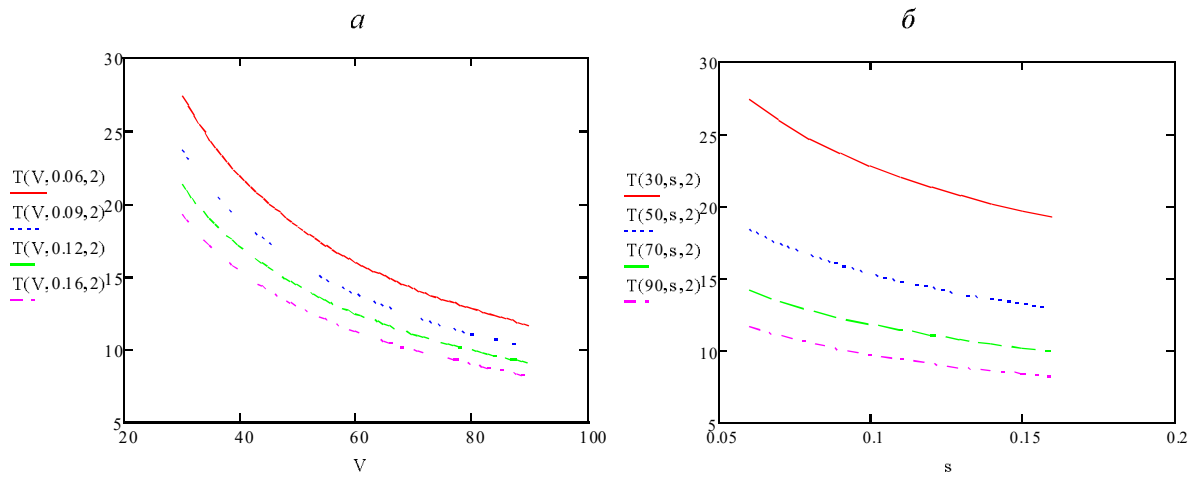


Рис. 5. Влияние технологических режимов на стойкость инструмента из сплава КМГ203 при точении без удара:
 а – зависимость от скорости резания при подачах 0,06 мм/об, 0,09 мм/об, 0,12 мм/об, 0,16 мм/об;
 б – зависимость от подачи при скорости 30 м/мин, 50 м/мин, 70 м/мин, 90 м/мин

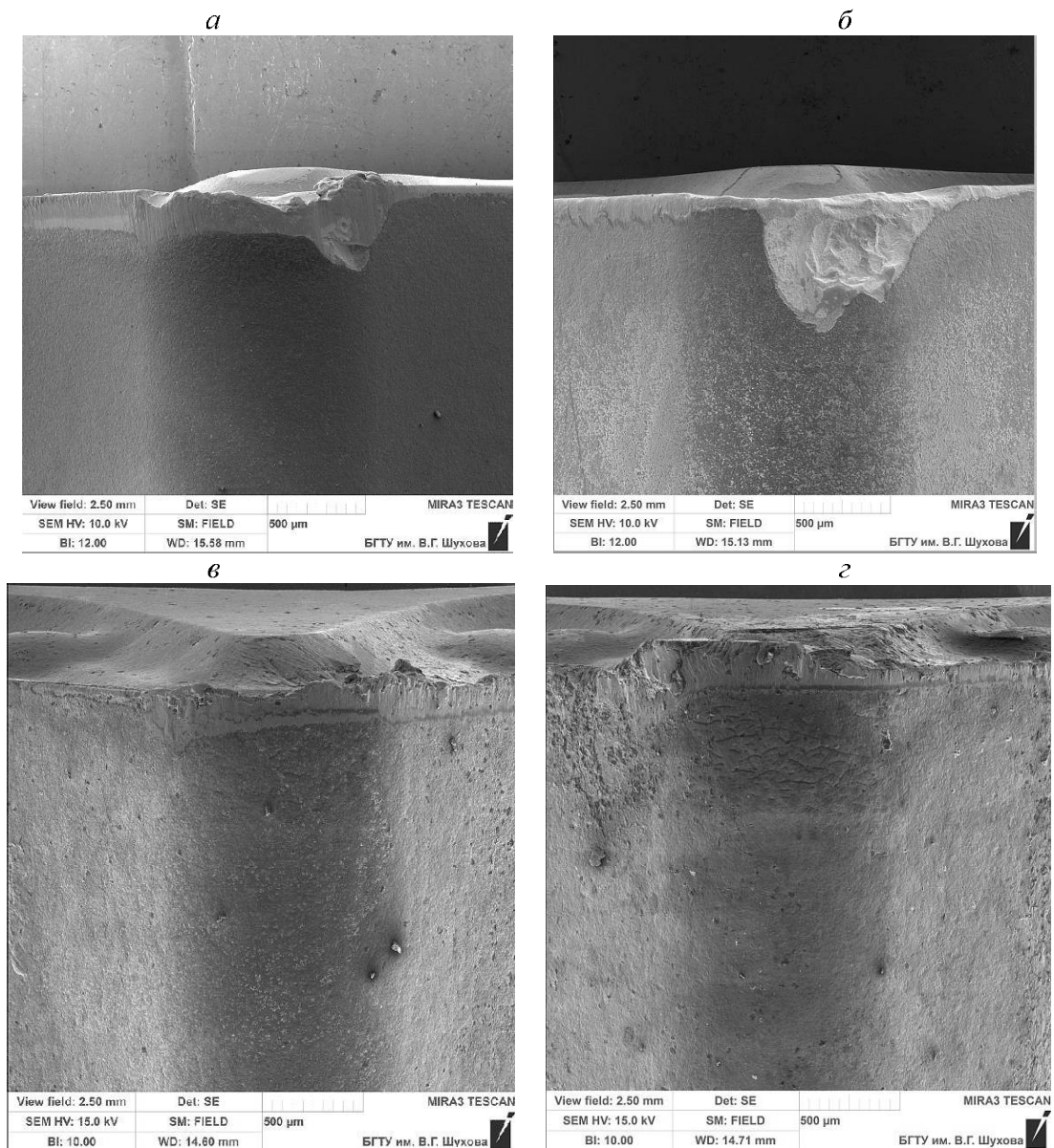


Рис. 6. Характер износа режущей пластины: а – точение с ударом сплавом КММ253 с покрытием CVD; б – точение с ударом сплавом КМГ203 с покрытием PVD; в – точение без удара сплавом КММ253 с покрытием CVD; г – точение без удара сплавом КМГ203 с покрытием PVD

Для исследования микроструктуры и структурных изменений под действием тепловых и ударных нагрузок были использованы функции электронного микроскопа, позволяющие получить увеличенное изображение с ценой деления

0,2 мкм. Данное увеличение позволяет исследовать слои поверхностного слоя и адгезию между ними (рис. 7, 8).

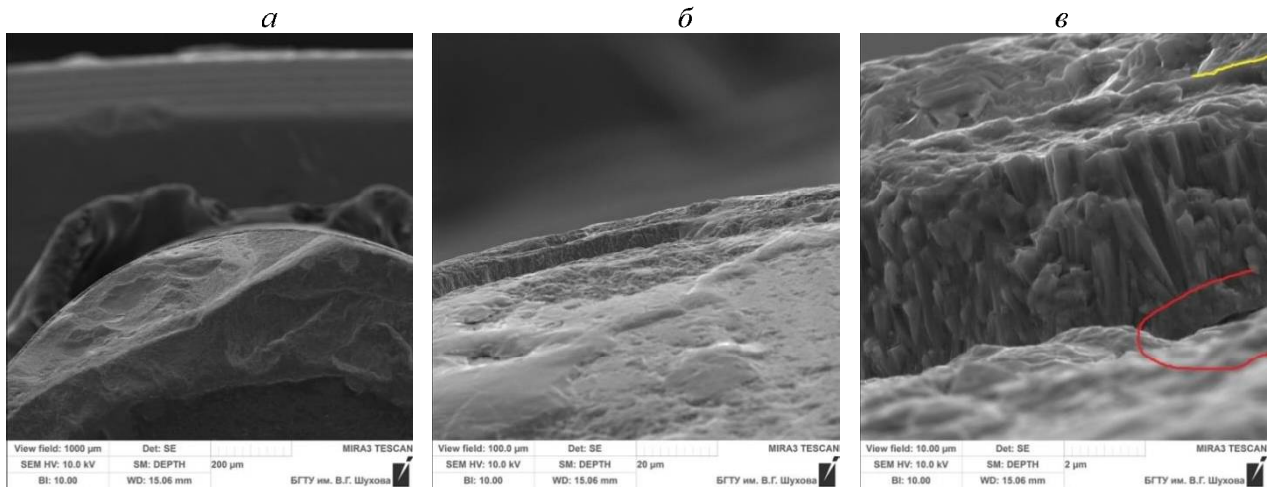


Рис. 7. Износ покрытия из сплава КММ253 с технологией CVD, точение с ударом:
а – увеличение до цены деления 20 мкм; *б* – увеличение до цены деления 2 мкм,
в – увеличение до цены деления 0,2 мкм

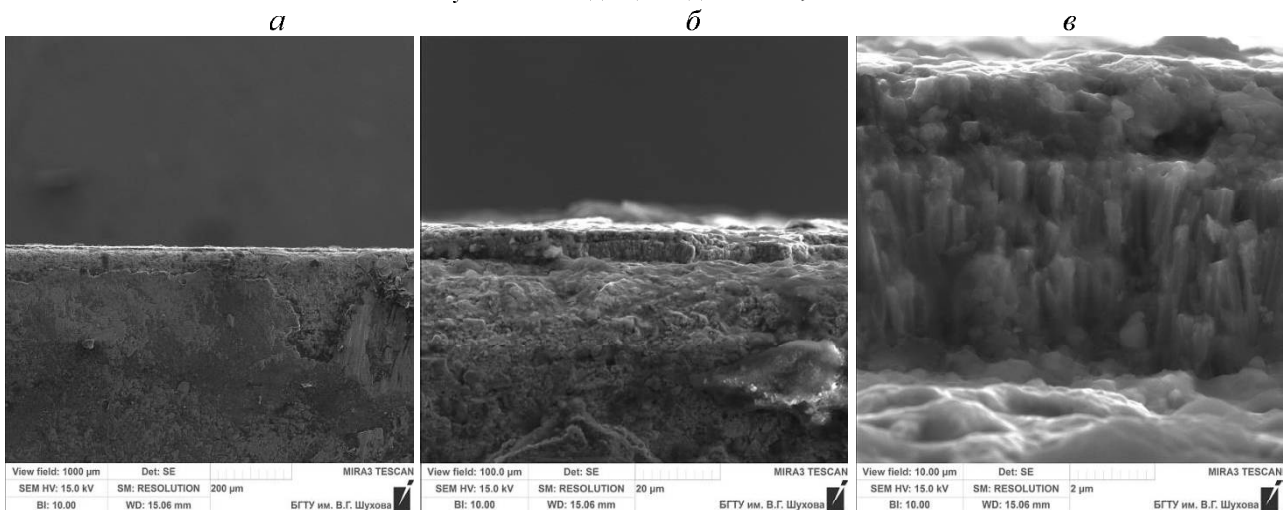


Рис. 8. Износ покрытия из сплава КММ253 с технологией CVD, точение без удара:
а – увеличение до цены деления 20 мкм; *б* – увеличение до цены деления 2 мкм,
в – увеличение до цены деления 0,2 мкм

На рис. 7 при увеличении до 0,2 мкм в структуре покрытия КММ253 с технологией CVD ярко выражены границы слоёв, верхний Al_2O_3 и нижний TiN слои покрытия имеют различную характерную структуру, наблюдается нарушение адгезии с основным материалом пластины. В условиях продольного точения без ударных нагрузок (рис. 8) в зоне износа наблюдаются два слоя, нарушение адгезии отсутствует.

Выводы. Разработанные эмпирические модели стойкости инструмента при точении сплавами КММ253 и КМГ203 в различных условиях технологических условий обработки позволяют обеспечивать заданные параметры стойкости на

основе обоснованного назначения технологических режимов, прогнозировать работоспособность инструмента, оптимизировать технологические параметры с целью повышения производительности, снижения себестоимости изготовления деталей. Микроскопическим исследованием было доказано влияние ударных нагрузок на адгезию защитного покрытия твердосплавных пластин.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сорокин В.Г., Волосникова А.В., Вяткин С.А. Марочник сталей и сплавов. М.: Машиностроение, 1989. 640 с.

2. ГОСТ 5632-72 Стали высоколегированные и сплавы коррозионно-стойкие, жаростойкие и жаропрочные Марки. М.: ИПК Издательство стандартов, 1997. 64 с.
3. Дуюн Т.А., Гринек А.В., Сахаров Д.В. Управление тепловыми параметрами процесса механической обработки с использованием численного моделирования их тепловых зависимостей // Промышленные контроллеры АСУ. 2015. №10. С. 43–50.
4. Спиридонов А.А. Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов. М.: Машиностроение, 1981. 184 с.
5. Anurag Srivastava, Bhoopendra Dhar Diwan, Structural and elastic properties of ZrN and HfN: ab initio study // Canadian journal of Physics. 2014. Vol. 92. Pp. 1058–1061.
6. Youming Liu, Liuhe Li, Xun Cai, Qiulong Chen, Ming Xu, Yawei Hu, Tik-Lam Cheung, Shek C., Paul K. Chu. Effects of pretreatment by ionimplantation and interlayer on adhesion between aluminum substrate and TiN film // Thin Solid Films. 2005. Vol. 493. Iss 1-2. P. 152–159.
7. Нарцев В.М., Зайцев С.В., Прохоренков Д.С., Евтушенко Е.И., Ващилин В.С. Зависимость структуры ALN-покрытий от концентрации азота при осаждении на сапфир магнетронным методом // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2016. №1. С. 144–149.
8. Шпур Г., Штеферле Т. Справочник по технологии резания материалов. М.: Машиностроение, 1985. 616 с.
9. Stroiber W. Comminution Technology and Energy consumption. Part 1 // Cement International. 2003. №2.
10. Пчёлкин В.М. Особенности износа твердосплавных пластин при высокоскоростной обработке // Образование, наука, производство. 2015. Т.1. БГТУ им. В.Г. Шухова. С. 1703–1707.
11. Реброва И.А. Планирование эксперимента. Омск: СиБАДИ, 2010. 105 с.
12. Бойко А.Ф., Воронкова М.Н. Теория планирования и организация многофакторных экспериментов. Белгород: Изд-во БГТУ, 2013. 73 с.
13. Рубанов В.Г., Бушуев Д.А. Моделирование экстремальных систем управления в среде Matlab и Simulink, как средство анализа динамики // Научные ведомости БелГУ. Серия: История. Политология. Экономика. Информатика. 2012. №19 (138), вып. 24/1. С. 169–175.
14. Дуюн Т.А., Бешевли О.Б. Влияние технологических параметров на температурный режим и получаемое качество поверхности при фрезеровании баббита // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2015. №2. С. 112–117.
15. Пчёлкин В.М., Дуюн Т.А. Стойкость упрочняющих покрытий металлорежущего инструмента в условиях ударных нагрузок // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2017. №6. С. 128–134.

Информация об авторах

Пчёлкин Вячеслав Михайлович, аспирант кафедры технологии машиностроения.

E-mail: pvm0106@mail.ru

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Дуюн Татьяна Александровна, доктор технических наук, зав. кафедры технологии машиностроения.

E-mail: tanduun@mail.ru.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила в октябре 2017 г.

© Пчёлкин В.М., Дуюн Т.А., 2018

V.M. Pchelkin, T.A. Duyun

**WEAR RESISTANCE CARBIDE INSERTS WITH MULTI LAYER COATINGS
IN VARIOUS TECHNOLOGICAL CONDITIONS TURNING HEAT-RESISTANT STEEL**

The results of experimental studies of the wear resistance of carbide-tipped plates with multi-layer wear-resistant coatings obtained by various technological methods are presented: chemical vapor deposition and vapor deposition from the vapor (gas) phase by the ingress of corrosion-resistant high-temperature steel 08Kh18N10T. The experiment was carried out in the conditions of an industrial enterprise using the existing equipment, rigging and tools. The wear resistance of the plates was investigated in extreme technological conditions: turning with impact and turning without cooling. Empirical models of wear resistance with the use of first-order planning by the method of full-factor experiment have been developed. The influence of technological parameters of cutting was studied: feed of the cutting tool, cutting speed and depth. The features of wear, the period of firmness of different grades of hard alloy plates are revealed, the effect of the technological modes of turning on the wear processes is determined, the microstructure of the cutting inserts is analyzed after the thermal, force and impact loads of the cutting process are affected. The developed empirical models

allow to provide the given parameters of the tool life in various technological conditions on the basis of the justified designation of technological regimes, to predict the tool's efficiency, to optimize the technological parameters in order to increase productivity and reduce the production cost of parts.

Keywords: *empirical model of wear resistance, turning corrosion-resistant heat-resistant steel, firmness of hard alloy tool, experiment planning, results of micro-study of cutting inserts.*

Information about the authors

Vyacheslav M. Pchelkin, Postgraduate student.

E-mail: pvm0106@mail.ru

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov.

Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Tatiana A. Duyun, PhD, Professor.

E-mail: tanduun@mail.ru.

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov.

Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received in October 2017