

DOI: 10.12737/article\_5926a059e7a522.82892851

Пчёлкин В. М., аспирант,  
Дуюн Т.А., д-р техн. наук, доц.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

## СТОЙКОСТЬ УПРОЧНЯЮЩИХ ПОКРЫТИЙ МЕТАЛЛОРЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА В УСЛОВИЯХ УДАРНЫХ НАГРУЗОК

pvm0106@mail.ru

Представлены результаты экспериментальных исследований стойкости упрочняющих покрытий твёрдосплавных пластин при точении коррозионно-стойкой жаропрочной стали 08X18H10T. Эксперимент проводился в производственных условиях с применением действующего промышленного оборудования, технологической оснастки и инструмента. В качестве обрабатываемого изделия использовался тройник – соединительная деталь трубопроводов. Особенностью проведения эксперимента являлся прерывистый характер резания с ударными нагрузками. Исследовалась стойкость твёрдосплавных пластин с различными методами нанесения упрочняющих покрытий. С использованием электронного микроскопа выполнен анализ микроструктуры режущих пластин после воздействия тепловых, силовых и ударных нагрузок процесса резания. Установлено влияние технологических режимов точения на стойкость инструмента, выявлены особенности износа в зависимости от метода нанесения упрочняющего покрытия. Полученные результаты позволяют обоснованно назначать технологические режимы и прогнозировать стойкость инструмента при точении жаропрочной стали в условиях ударных нагрузок.

**Ключевые слова:** износостойкие покрытия, метод нанесения покрытий, точение коррозионно-стойкой жаропрочной стали, стойкость твёрдосплавного инструмента, результаты микроисследования режущих пластин.

**Введение.** В инструментальном производстве наибольшее промышленное применение получили два основных метода нанесения износостойких покрытий: метод химического осаждения покрытий CVD (Chemical Vapour Deposition) и метод физического осаждения покрытий PVD (Physical Vapour Deposition) [1].

Метод химического осаждения покрытий CVD основан на протекании гетерогенных химических реакций в парогазовой среде, окружающей инструменты, в результате которых образуется износостойкое покрытие. Получение покрытий из тугоплавких соединений путем осаждения их из газовой фазы основано на восстановлении летучих соединений металлов водородом в присутствии активных составляющих газовой смеси, которые, взаимодействуя с выделяющимся в свободном виде металлом, образуют соответствующие тугоплавкие соединения. Конденсация покрытий осуществляется на поверхности инструмента, нагретого до необходимой температуры 900–1200 °С при давлении близком или равном атмосферному [2].

Метод физического осаждения покрытий PVD основан на получении в среде вакуума пара осаждаемого материала в результате воздействия на изготовленный из него катод различных источников энергии. Данный метод позволяют получать пар практически любого твердого вещества, а для синтеза его соединений на поверхности инструмента, например нитридов,

оксидов или карбидов, используются нетоксичные газы – азот, кислород, ацетилен и другие, не представляющие опасности для окружающей среды. Метод физического осаждения покрытий универсален с позиции получения гаммы одно и многослойных покрытий практически любого состава, в том числе с алмазоподобной и наноразмерной структурами, а также позволяет реализовывать процессы нанесения при более низких температурах 500–600 °С [3].

Метод нанесения износостойкого покрытия оказывает существенное влияние на стойкость режущего инструмента в различных технологических условиях. Покрытия CVD позволяют вести обработку на более высоких скоростях резания, но являются более хрупкими, по сравнению с PVD покрытиями. Задачей исследования являлось сравнение стойкости и выявление особенностей износа многослойных покрытий, полученных методами CVD и PVD, при одинаковых технологических режимах в условиях ударных нагрузок при точении труднообрабатываемого материала.

**Методика.** Эксперимент проводился в производственных условиях на ОАО «Ракитянский Арматурный Завод» с использованием действующего оборудования, инструмента и технологической оснастки. В качестве основного оборудования использовался токарный обрабатывающий центр для тяжелых условий обработки модели PUMA480LM, в качестве режущего ин-

струмента – токарный резец со сменной многогранной пластиной из твердого сплава, состоящий из державки A25R-DWLNR08 и пластины. Применялись два типа твердосплавных пластин с покрытием, полученным разными технологическими способами – CVD и PVD. Для качественного и бесперебойного отвода стружки из зоны резания, а также для ее эффективного ломания, был выбран стружколом геометрии MM [4]. Для закрепления инструмента была использована базовая револьверная головка станка DOOSAN модели PUMA480LMc 12 инструмен-

тальными позициями для закрепления инструмента. Обрабатываемое изделие – тройник из коррозионно-стойкой жаропрочной стали 08X18H10T [5], соединительная деталь трубопровода, предназначенная для разветвления и изменения направления потока среды основной магистрали (рис. 1) [6]. Технологической особенностью обработки тройника являются периодически возникающие ударные нагрузки, связанные с точением прямоугольного сечения заготовки при формировании цилиндрического сечения магистрали и горловины тройника.

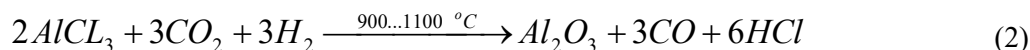


Рис. 1. Тройник по ОСТ24.125.16-89: а – заготовка; б – деталь после операции точения

В качестве измерительного инструмента применялся ручной микроскоп TWNU-80. Износ измерялся по задней поверхности, критическое значение принято – 0,3 мм. Замер износа проводился после каждого прохода [7]. Для исследования микроструктуры износа многослойного покрытия использовался электронный микроскоп MIRA3 TESCAN.

**Основная часть.** Для сравнения стойкости многослойных покрытий использовались пластины WNMG080408-MM (рис. 2) с покрытиями KMM253 и KMG203.

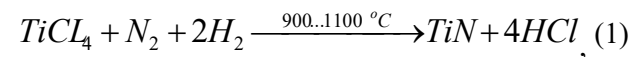
Двухслойное покрытие KMM253 состоит из нижнего слоя TiN и верхнего слоя  $Al_2O_3$ . Уравнение химической реакции при формировании покрытий имеют вид [8, 9]:



Нижний слой TiN обладает твердостью по Виккерсу 22–24 ГПа. Верхний слой  $Al_2O_3$  имеет более высокую микротвердость, которая в зависимости от типа кристаллической решетки и режимов осаждения может составлять до 35 Па [10]. Покрытие  $Al_2O_3$  сохраняет механические свойства при больших температурах резания и характеризуется повышенной пассивностью по отношению ко многим обрабатываемым матери-



Рис. 2. Внешний вид пластины WNMG080408-MM при осаждении нитрида титана TiN



при осаждении оксида алюминия  $Al_2O_3$

алам, но при этом является чрезвычайно хрупким. Применяется в качестве барьерного слоя, сдерживающего диффузионные процессы, а также окисление и коррозию режущих кромок инструмента при высоких температурах.

Покрытие KMG203 – это нано покрытие на основе TiAlN. Характерной особенностью покрытия является образование в процессе резания на его поверхности слоя  $Al_2O_3$ , служащего теп-

ловым барьером. Обладает повышенной стойкостью к окислительному износу, высокой твердостью по Виккерсу (до 37 ГПа) и имеет коэффициент трения по стали 0,6 [11]. Применяется для операций с большими термическими нагрузками: при высокоскоростной обработке, резании материалов с пониженной теплопроводностью, а

для сплава KMM253

$$T(v, f) = 167,83 - 2,57v - 517,68f + 2,16vf + 0,014v^2, \quad (3)$$

для сплава KMG203

$$T(v, f) = 374,26 - 6,19v - 1430,94f + 13,93vf + 0,027v^2. \quad (4)$$

Результаты измерения стойкости при разных технологических режимах представлены в табл. 1, рис.3. В большинстве экспериментов покрытие KMG203(PVD) показало более высокую стойкость, за исключением двух режимов с максимальной скоростью 102 м/мин и макси-

также обработке твердых материалов, в том числе без применения СОЖ [12].

В результате планирования эксперимента второго порядка по схеме рототабельного планирования получены эмпирические модели стойкости режущего инструмента в зависимости от скорости резания и подачи при постоянной глубине резания [13–15]:

мальной подачей 0,18 мм/об. Максимальная стойкость покрытий наблюдается на режимах с минимальной скоростью (18 м/мин, 0,11 мм/об) или минимальной подачей (30 м/мин, 0,06 мм/об).

Таблица 1

Стойкость покрытий при различных режимах резания

	Глубина резания, мм	Скорость резания, м/мин	Подача, мм/об	Стойкость инструмента, мин	
				KMM253 (CVD)	KMG203(PVD)
1	2,5	90	0,16	4,54	9,57
2	2,5	30	0,16	9,7	38,41
3	2,5	90	0,06	44,04	40,67
4	2,5	30	0,06	62,18	153,11
5	2,5	102	0,11	13	4,99
6	2,5	18	0,11	97,67	152,26
7	2,5	60	0,18	12,76	6,75
8	2,5	60	0,04	57,42	71,91
9	2,5	60	0,11	19,07	29,36
10	2,5	60	0,11	22,69	33,28
11	2,5	60	0,11	20,88	29,36
12	2,5	60	0,11	20,2	29,7

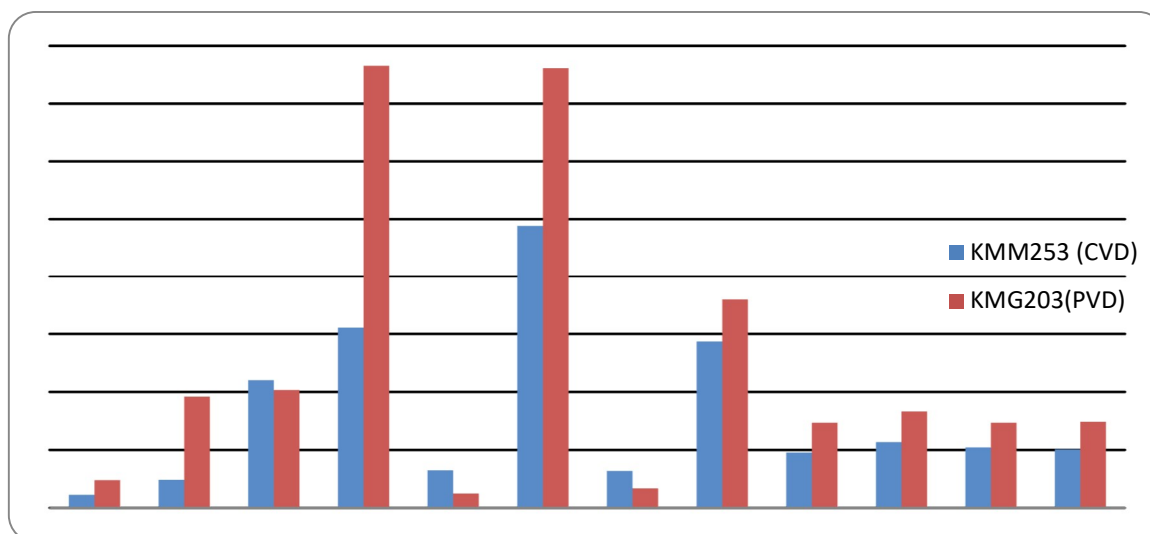


Рис. 3. Стойкость покрытий (мин) при различных режимах резания

В результате исследования с применением электронного микроскопа MIRA3 TESCAN был выявлен характер износа по задней поверхности режущих кромок. У сплава с двухслойным покрытием CVD ярко выражен износ и имеет место разрушение режущей кромки по основному материалу. У сплава с покрытием PVD режущая грань осталась недеформированной, а износ по

задней поверхности расположен только в области пятна контакта при резании. В обоих покрытиях выявлено истирание покрытия в области возвышения стружколома и образование бороздки на боковой поверхности кромки, не участвующей в резании. Данный износ вызван удалением стружки из зоны обработки и не влияет на стойкостные параметры инструмента.

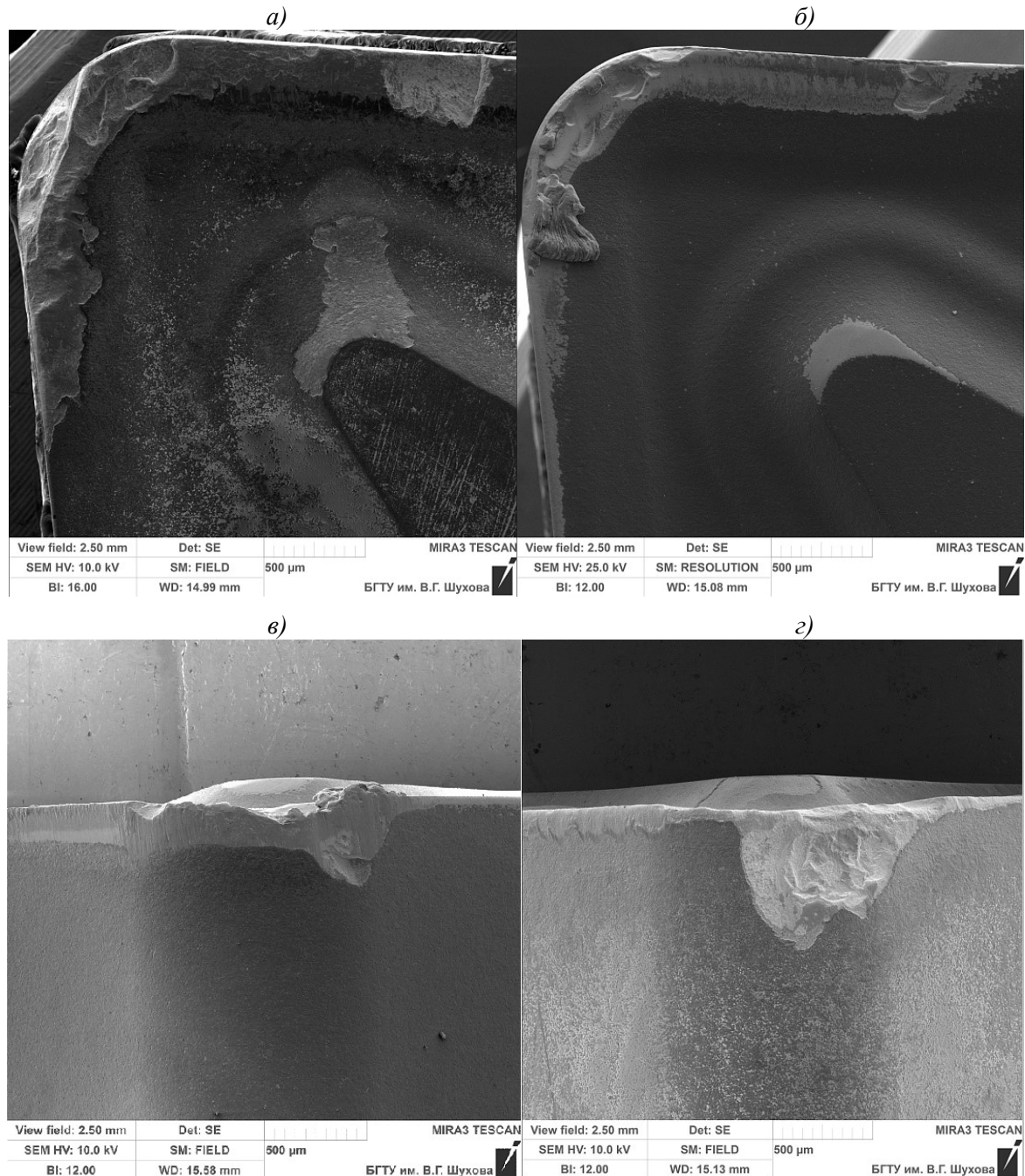


Рис. 4. Характер износа режущей пластины: а, в – для сплава KMM253 с покрытием CVD; б, г – для сплава KMG203 с покрытием PVD

Для исследования микроструктуры и структурных изменений под действием тепловых и ударных нагрузок были использованы функции электронного микроскопа, позволяющие полу-

чить увеличенное изображение с ценой деления 0,2 мкм. Данное увеличение позволяет исследовать слои поверхностного слоя и адгезию между ними (рис. 5, рис. 6).

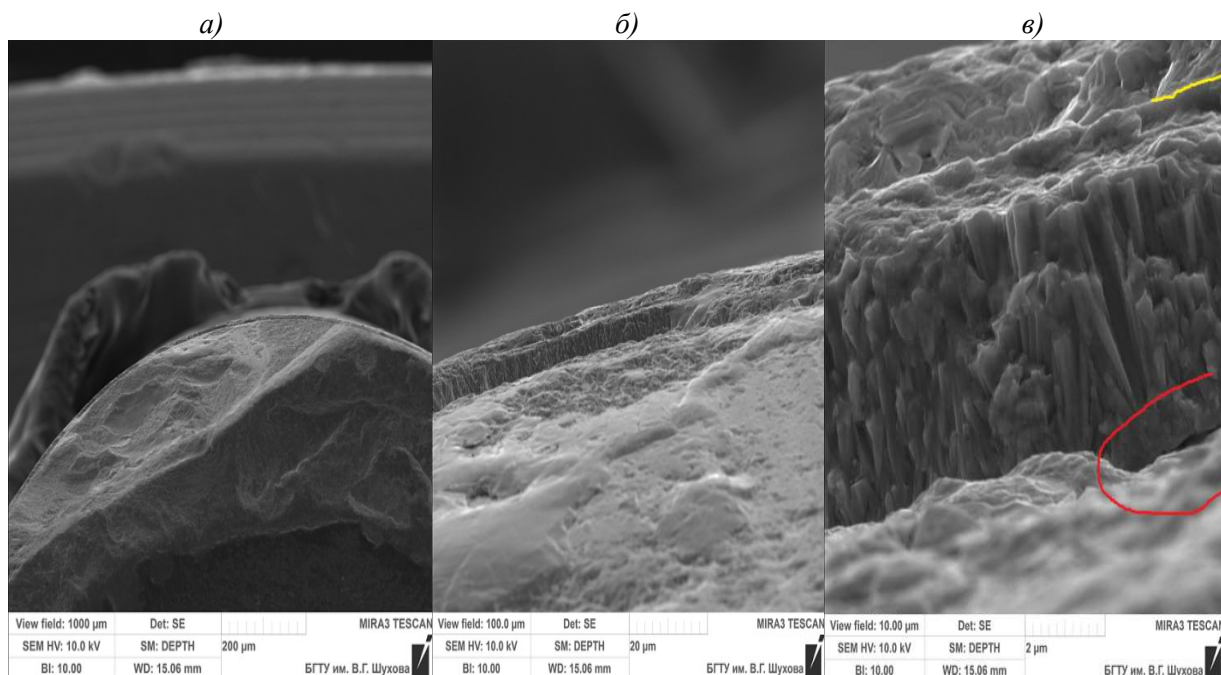


Рис. 5. Слои покрытия сплава KMM253 с технологией CVD:  
 а – увеличение до цены деления 20 мкм; б – увеличение до цены деления 2 мкм,  
 в – увеличение до цены деления 0,2 мкм

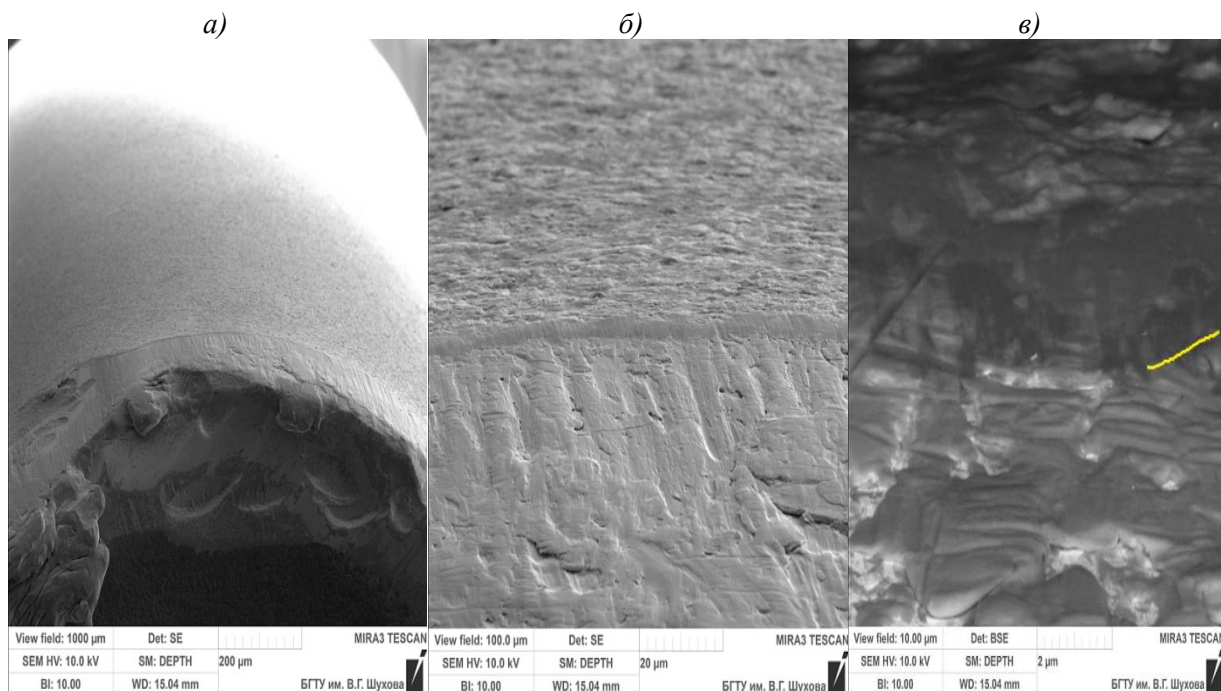


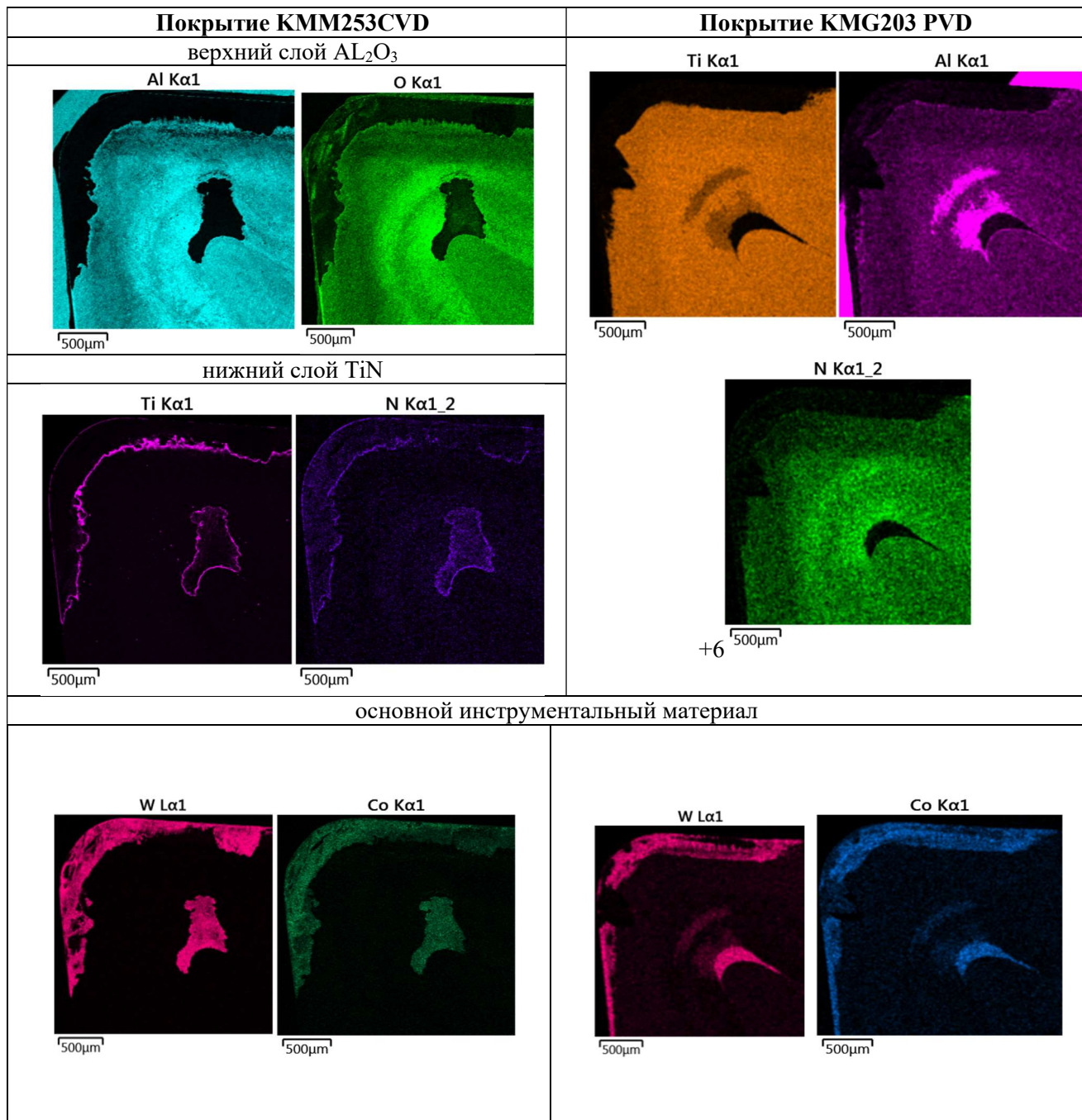
Рис. 6. Слои покрытия сплава KMG203 с технологией PVD:  
 а – увеличение до цены деления 20 мкм; б – увеличение до цены деления 2 мкм,  
 в – увеличение до цены деления 0,2 мкм

На рис. 5 при увеличении до 0,2 мкм в структуре покрытия KMM253 с технологией CVD ярко выражены границы слоёв, верхний  $Al_2O_3$  и нижний TiN слой покрытия имеют различную характерную структуру, наблюдается нарушение адгезии с основным материалом пластины. Покрытие KMG203 с технологией PVD

(рис. 6) имеет однородную структуру покрывающего слоя TiAlN, нарушение адгезии с основным материалом не выявлено.

Исследования химического состава показали зоны износа внешних и внутренних покрытий, а также зоны высвобождения основного инструментального материала (табл. 2).

## Химический состав покрытий в зоне режущей кромки



**Выводы.** Выполнено экспериментальное исследование, разработаны эмпирические модели стойкости сменных многогранных твердосплавных пластин с износостойкими покрытиями, полученными разными методами: методом химического осаждения CVD и методом физического осаждения PVD, при точении коррозионно-стойкой жаропрочной стали 08X18H10T в условиях ударных нагрузок. Анализ показал, что в данных технологических условиях покрытие КМГ203 с технологией PVD имеет более высокую стойкость по сравнению с покрытием КММ253 технологии CVD в среднем на 45%. Выявлены особенности износа покрытий, у по-

крытия КММ253 наблюдалось нарушение адгезии слоев при действии тепловых и ударных нагрузок.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Блинков И.В. Челноков В.С. Покрытия и поверхностное модифицирование материалов: критерии выбора покрытий, их свойства: учеб. пособие МИСиС. М.: Учеба, 2003. 76 с.
2. Григорьев С.Н. Методы повышения стойкости режущего инструмента: учебник для студентов вузов. М.: Машиностроение, 2011. 368с.

3. 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.

4. Пчёлкин В. М., Дуюн Т.А Эмпирические модели износостойкости твердосплавных пластин при точении коррозионно-стойкой жаропрочной стали // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2016. №12. С. 126–131.

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

6. ГОСТ 5632-72 Стали высоколегированные и сплавы коррозионно-стойкие, жаростойкие и жаропрочные Марки. М.: ИПК Издательство стандартов, 1997. 64 с.

7. Пчёлкин В.М. Особенности износа твердосплавных пластин при высокоскоростной обработке // Образование, наука, производство. 2015. Т.1. БГТУ им. В.Г. Шухова. С.1703-1707.

8. Anurag Srivastava, Bhoopendra Dhar Dewan, Structural and elastic properties of ZrN and HfN: ab initio study// Canadian journal of Physics. 2014. Vol. 92. Pp.1058–1061

9. Stroibe W. Comminution Technology and Energy consumption. Part 1 // Cement International. 2003. №2.

10. Шпур Г., Штеферле Т. Справочник по технологии резания материалов. М.: Машиностроение, 1985. 616 с.

11. Greyer K., Hintze W., Muller M. Schnittstoffezur Trockenbearbeitung // Werkstatt und Betrieb. 130 (1997). № 6. Pp. 420–425.

12. 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.

13. Реброва И.А. Планирование эксперимента. Омск: СибАДИ, 2010. 105 с.

14. Бойко А.Ф. Теория планирования и организация многофакторных экспериментов / А.Ф. Бойко, М.Н. Воронкова. – Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2013. 73 с.

15. Спиридонов А.А. Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов. М.: Машиностроение, 1981. 184 с.

---

**Pchelkin V.M., Duyun T.A.**

#### **RESISTANCESTRENGTHENINGCOATINGSMETAL-TOOLING TOOLSIN CONDITIONSSHOCK LOADS**

*The results of experimental studies of the durability of hardening coatings of carbide-tipped plates during the turning of corrosion-resistant heat-resistant steel 08X18H10T are presented. The experiment was conducted in production conditions with the use of existing industrial equipment, technological equipment and tools. As a work piece, a tee was used - a connecting piece of pipelines. The peculiarity of the experiment was the intermittent nature of cutting with impact loads. The stability of carbide-tipped plates with various methods of applying hardening coatings was investigated. Using the electron microscope, the microstructure of the cutting inserts is analyzed after the thermal, force and impact loads of the cutting process have been affected. The effect of technological modes of turning on the tool's durability is established, the wear characteristics are revealed depending on the method of applying the hardening coating. The obtained results allow reasonably assigning technological regimes and predicting the tool's stability when turning heat-resistant steel under shock loads.*

**Key words:** wear-resistant coatings, Method of coating, Turning corrosion-resistant heat-resistant steel, Resistancecarbide tools, Results of micro-study of cutting inserts.

---

**Дуюн Татьяна Александровна**, доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой технологии машиностроения.

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

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

E-mail: tanduun@mail.ru

**Пчёлкин Вячеслав Михайлович**, аспирант кафедры технологии машиностроения.

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

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

E-mail: pvm0106@mail.ru