

Научная статья

Статья в открытом доступе

УДК 621.9

doi: 10.30987/2782-5957-2022-01-02-60-68

## ТВЁРДОСПЛАВНЫЕ ПЛАСТИНЫ И ПОКРЫТИЯ К НИМ ДЛЯ ТОЧЕНИЯ ТРУДНООБРАБАТЫВАЕМЫХ НЕРЖАВЕЮЩИХ СТАЛЕЙ

Борис Яковлевич Мокрицкий<sup>1✉</sup>, Вадим Юрьевич Шелковников<sup>2</sup>, Эрадж Сикандарович Ситамов<sup>3</sup>, Анна Валентиновна Морозова<sup>4</sup>, Елена Борисовна Мокрицкая<sup>5</sup>

<sup>1, 2, 3</sup> Комсомольский-на-Амуре государственный университет, Комсомольск-на-Амуре, Россия

<sup>4</sup> Брянский государственный технический университет, Брянск, Россия

<sup>5</sup> Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Россия

<sup>1</sup> boris@knastu.ru, ID – ORCID 0000-0003-4727-9873

<sup>2</sup> technopark@yandex.ru

<sup>3</sup> Eraj\_2303@mail.ru

<sup>4</sup> notiosstu@gmail.com, ID – ORCID 0000-0002-2861-7462

<sup>5</sup> mokritskaya@mail.ru

### Аннотация

Цель исследования. Повысить в 2–3 раза период стойкости твёрдосплавных сменных пластин при точении специализированных труднообрабатываемых нержавеющей сталей, например, коррозионностойкой стали марки 09X17H7Ю.

Задача, решению которой посвящена статья. Выявить несколько наиболее рациональных новых покрытий для твёрдосплавного инструмента, предназначенного для точения специализированных нержавеющей сталей.

Методы исследования. Применён метод имитационного моделирования для прогнозирования твёрдосплавного инструмента с покрытиями.

Новизна работы. Научная новизна исследований состоит в разработке научных принципов и инновационных технологий на основе плазменных процессов нанесения покрытий методом конденсации с ионной бомбардировкой (КИБ) с прогнозированием адаптивной реакции на внешние воздействия с целью применения в механической обработке труднообрабатываемых нержавеющей сталей.

Теоретическую значимость работы подтверждают следующие основные положения: разработана методология проектирования покрытий твёрдосплавного инструмента применительно к точению специализированных труднообрабатываемых нержавеющей сталей 09X17H7Ю, 12X18H10T, 13X15H5 АМ-3; предложены входные и выходные критерии имитационного проектирования покрытий и их параметры.

Результаты исследования. Разработана последовательность действий (методика) при проектировании покрытий для токарного инструмента под заданные условия его эксплуатации. Предложен

ряд покрытий, обеспечивающих прирост периода стойкости в два раза и более до износа 0,5 мм по задней поверхности инструмента. Разработаны регрессионные (полиномиальные) уравнения, характеризующие зависимость величины износа инструмента от времени его работы при точении указанных нержавеющей сталей.

Вывод. Разработаны научные принципы и инновационные технологии на основе плазменных процессов нанесения покрытий методом конденсации с ионной бомбардировкой (КИБ) с прогнозированием адаптивной реакции на внешние воздействия с целью применения в механической обработке труднообрабатываемых нержавеющей сталей. Это позволило разработать рекомендации, обеспечивающие повышение работоспособности отечественного типового твёрдосплавного инструмента в 2–4 раза по периоду работы до износа 0,5 мм, возможность выбора наиболее рациональных инструментальных материалов для заданных или предполагаемых условий их эксплуатации, оптимизацию параметров режима резания, повышение производительности обработки без снижения качества обработанной поверхности, возможность обоснованно заказывать необходимого режущего инструмента.

Разработана методика проектирования новых инструментов под заданные или предполагаемые условия их эксплуатации. Она предусматривает управление работоспособностью инструмента для обеспечения нужного уровня работоспособности инструмента, необходимого качества обработанной поверхности и необходимой производительности обработки.

**Ключевые слова:** точение нержавеющей стали 09X17N7Ю, повышение периода стойкости

токарных резцов, имитационное моделирование покрытий.

Original article  
Open Access Article

## CARBIDE INSERTS AND COATINGS TO THEM FOR TURNING HARD-TO-MACHINE STAINLESS STEELS

**Boris Yakovlevich Mokritskiy**<sup>1✉</sup>, **Vadim Yuryevich Shelkovnikov**<sup>2</sup>, **Eraj Sikandarovich Sitamov**<sup>3</sup>, **Anna Valentinovna Morozova**<sup>4</sup>, **Elena Borisovna Mokritskaya**<sup>5</sup>

<sup>1, 2, 3</sup> Komsomolsk-na-Amure State University, Komsomolsk-on-Amur, Russia

<sup>4</sup> Bryansk State Technical University, Bryansk, Russia

<sup>5</sup> Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia

<sup>1</sup> boris@knastu.ru, ID – ORCID 0000-0003-4727-9873

<sup>2</sup> technopark@yandex.ru

<sup>3</sup> Eraj\_2303@mail.ru

<sup>4</sup> niotiostu@gmail.com, ID – ORCID 0000-0002-2861-7462

<sup>5</sup> mokritskayae@mail.ru

### Abstract

The work objective. To increase by 2-3 times the life of replaceable carbide inserts when turning specialized hard-to-machine stainless steels, for example, corrosion-resistant steel 09X17N7YU.

The problem to which the paper is devoted. To identify some of the most rational new coatings for carbide tools designed for turning specialized stainless steels.

Research methods. The method of simulation modelling is applied for predictive design of a carbide tool with coatings.

The novelty of the work. The scientific novelty of the research consists in the development of scientific principles and innovative technologies based on plasma coating processes by condensation with ion bombardment (CIB) with the prediction of adaptive response to external influences for the purpose of application in treatment of hard-to-machine stainless steels. The theoretical significance of the work is confirmed by the following main provisions: methods for the design of carbide tool coatings is developed in relation to the turning of specialized hard-to-machine stainless steels 09 X 17N7YU, 12X18N10T, 13X15N5 AM-3; input and output criteria for the simulation design of coatings and their parameters is proposed.

The results of the study. A sequence of actions (methodology) is developed to design coatings for turning tools under the specified conditions of their operation. A number of coatings are proposed that provide an

increase in the tool life by two times or more to wear 0.5 mm on the back surface of the tool. Regression (polynomial) equations are developed that characterize the dependence of the wear value of the tool on the time of its operation when turning these stainless steels.

Conclusion. Scientific principles and innovative technologies are developed based on plasma coating processes by condensation with ion bombardment (CIB) with prediction of adaptive response to external influences for the purpose of application in treatment of hard-to-machine stainless steels. This made it possible to develop recommendations that ensure an increase in the performance of domestic standard carbide tools by 2-4 times over the period of operation up to 0.5 mm wear, the possibility of choosing the most rational tool materials for the specified or expected conditions of their operation, optimizing the parameters of the cutting mode, increasing treatment productivity without reducing the quality of the treated surface, the possibility to order the necessary cutting tool reasonably. Methods for designing new tools for the specified or desired conditions of their operation are developed. They provide to control the tool operability to ensure its necessary level, desired quality of the treated surface and the necessary treatment performance.

**Keywords:** turning of stainless steel 09X17N7YU, increasing the turning tool life, simulation modelling of coatings.

### Введение

Нержавеющая специализированная коррозионностойкая сталь марки 09X17N7Ю уникальна по своим эксплуатационным свойствам, поэтому применяется в ряде отраслей народного хозяйства.

Её механическая обработка затруднена из-за значительного содержания в ней хрома и никеля. В ряде случаев периода стойкости режущего инструмента недостаточно для обработки поверхности заготовки детали,

выполненной из этой стали, без смены режущей пластины. Необходимы меры по повышению эффективности токарной обработки таких заготовок. В данной статье приведены некоторые результаты исследования для ряда отечественных и зарубежных сменных твёрдосплавных режущих пластин токарных резцов. Для повышения их периода стойкости использованы новые

### Материалы, модели, эксперименты и методы

Обрабатываемыми материалами выбраны специализированные труднообрабатываемые нержавеющей стали марок 09X17H7Ю, 12X18H10Т и 13X15H5 АМ-3. Наиболее труднообрабатываемой из них является сталь марки 09X17H7Ю, зарубежных аналогов её нет. Наиболее просто обрабатываемой из них является сталь марки 13X15H5 АМ-3.

Рассмотрены результаты применения твёрдосплавных металлорежущих инструментов, выполненных из отечественного твёрдого сплава марки ВК8, а также инструментальные материалы ведущих в мире инструментальных фирм, например, *Sandvik coromant*, *Mitsubishi*, *Corloy*.

В основу исследования положено имитационное компьютерное моделирование как метод проектирования металлоре-

### Результаты

В данной работе приведены отдельные сведения, подводящие определённые итоги исследования. Расширенная информация приведена в работах [1, 2, 3]. В работе выполнено имитационное моделирование в программной среде *Deform* прогнозируемых покрытий, часть из этих покрытий нанесена на твёрдый сплав марки ВК8, такие инструменты испытаны в реальных условиях резания с оценкой периода стойкости инструмента и качества обработанной поверхности заготовки. Результаты, полученные в ходе натурных испытаний инструмента, и результаты, прогнозируемые по *Deform*, отличаются на 3–7 %,

разработанные покрытия применительно к твёрдосплавной пластине марки ВК8. Для сопоставления эффективности разработанных инструментов рассмотрены случаи обработки заготовок деталей, выполненных из других труднообрабатываемых нержавеющей сталей, в частности для сталей марок 12X18H10Т и 13X15H5 АМ-3.

жущего инструмента в программной среде *Deform 3D*.

Экспериментальные исследования выполнены путём изготовления инструментов, показавших при имитационном моделировании наиболее рациональные результаты по периоду стойкости, и испытания их при резании без снижения производительности обработки и качества обработанной поверхности.

В основе исследований использована методология, заключающаяся в том, что наиболее просто повышение периода стойкости инструмента должно быть получено за счёт применения новых композиционных многослойных наноструктурированных покрытий на типовой твёрдосплавной основе (субстрате).

что находится в пределах погрешностей измерений. Этим подтверждена правомерность принятого подхода и методологии исследования.

Методологический принцип проектирования покрытий в виде схемы показан на рис. 1. Исходные (задаваемые) условия показаны на этом рисунке слева, управляемые (выходные) критерии показаны справа. Установлено, что для решения поставленной задачи достаточно ввести величину  $h_1$  допускаемого износа, допускаемую силу  $F_1$  резания, допускаемую температуру  $^{\circ}C_1$  в инструментальном материале и предпочтительную архитектуру  $A$  покрытия.

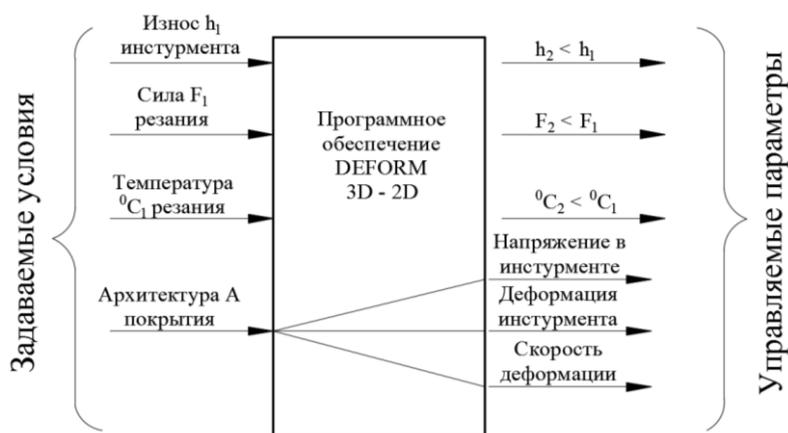
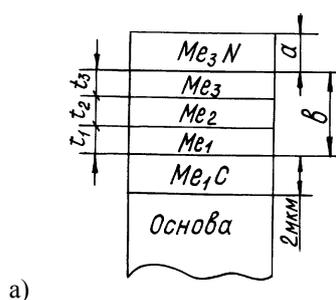


Рис.1. Условная схема проектирования покрытий в программной среде *Deform*  
 Fig. 1. Conditional scheme for designing coatings in the *Deform* software environment

Под архитектурой покрытия здесь понимается конструкция покрытия, состав и количество слоёв покрытия, толщина каждого слоя, метод нанесения покрытия и т.д. Установлено, что для оценки рациональности проектируемых покрытий достаточно ограничиться следующими критериями: расчётная (прогнозируемая по *Deform*) величина  $h_2$  износа пластины, прогнозируемая сила  $F_2$  резания, прогнозируемая температура  $^{\circ}C_2$  и параметры, характеризующие сложно-напряжённое состояние инструментального материала (напряжения в инструментальном матери-

ала, величина деформации инструментального материала и скорость этой деформации).

На рис. 2 показаны частные примеры архитектуры покрытий. На рис. 2а показан пример одной из архитектур покрытия, где обозначено:  $Me_1$ ,  $Me_2$ ,  $Me_3$  – слои покрытия, выполненные из материалов  $Me_1$ ,  $Me_2$ ,  $Me_3$ ;  $Me_1C$  – слой покрытия, выполненный из карбида материала  $Me_1$ ;  $Me_3N$  – слой покрытия, выполненный из нитрида материала  $Me_3$ ;  $t_1$ ,  $t_2$ ,  $t_3$ ,  $a$ ,  $b$  – толщины слоёв в покрытии.



б)

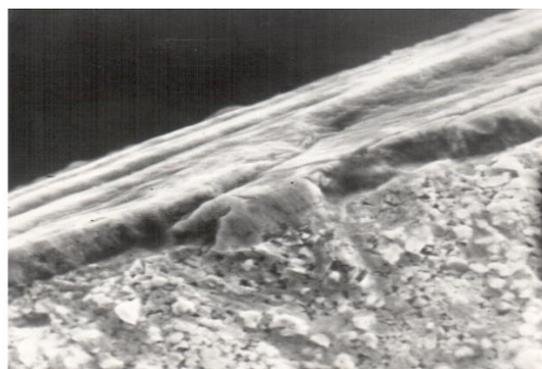


Рис. 2. Схема (а) одного из используемых покрытий; фото (б) разрушения покрытия  
 Fig. 2. Scheme (a) of one of the used coatings; photo (б) of the coating destruction

Известно [6 - 9], что применение покрытий повышает работоспособность металлорежущего инструмента, но для данной обрабатываемой стали применительно к разработанным покрытиям это показано впервые.

По результатам имитационного мо-

делирования выявлены прогнозные величины износа инструмента при обработке указанных нержавеющей сталей. В условных единицах (износ инструмента ВК8 без покрытия принят за 100%) износа это иллюстрировано на рис. 3, где 1 - ВК8+TiCN(5мкм) + (TiAl)N(3мкм) +

Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(5мкм) + TiC(5мкм); 2 - BK8+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(2мкм) + (Ti)CN(5мкм) + (TiAl)N(3мкм) + TiN(3мкм); 3 - BK8 + (TiAl)N(3мкм) + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(3мкм) + (TiAl)N(3мкм) + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(3мкм); 4 - BK8 + TiN(3мкм) + TiC(3мкм) + TiN(3мкм) + TiC(3мкм); 5 - BK8+TiC(3мкм) + TiN(3мкм) + (TiAl)N(2мкм); 6 - BK8 + TiCN(2мкм) + TiC(3мкм) + TiN(1,5мкм); 7 -

BK8 + TiC(1,5 мкм) + TiN(3мкм); 8 - BK8 + TiN(2мкм) + TiC(5мкм); 9 - BK8 + TiCN(0,5мкм) + TiN(1мкм); 10 - BK8 + TiN(0,5мкм) + TiC(1мкм); 11 – BK8 без покрытия. Исследования выполнены для стали 09X17H7Ю: точение при скорости резания 50 м/мин, подаче 0,21 мм/об. заготовки, глубине резания 1 мм).

Величина условного износа (проценты)

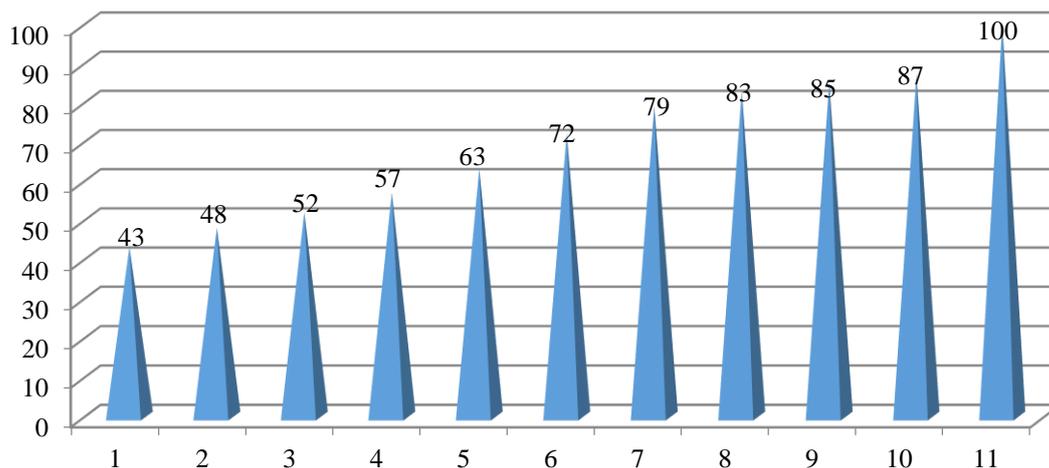


Рис. 3. Результаты имитационного моделирования величины износа (по вертикали приведено как 100%) для разных разработанных инструментов

Fig. 3. Results of simulation of the amount of wear (vertical is given as 100%) for different developed instruments

Эти результаты прогнозного моделирования подтверждены экспериментально непосредственно при точении этой и других рассматриваемых сталей.

Сравнение с инструментами, разработанными ведущими в мире инструментальными фирмами, показало, что их инструмент не применим для обработки стали 09X17H7Ю, отказ происходит на первых минутах резания.

Возможности программной среды *Deform* использованы для того, чтобы выполнить визуализацию результатов исследования. Так, в нижней части справа на рис. 1 условно показано лишь три управляемых параметра, а именно напряжения, величина деформации и скорость деформации. Зачастую этих трёх недостаточно для понимания происходящих эффектов в инструментальном материале. На рис. 4

показано соотношение (в безмасштабном изображении) большего количества параметров (критериев), исследуемых в начальный период резания, обозначено 1 - величина износа инструмента (в %); 2 - температура в зоне резания (в °С); 3 - эквивалентные напряжения в инструментальном материале (в МПа); 4 - величина деформации инструментального материала (в мкм); 5 - максимальная составляющая силы резания (в Н). Рис. 4 показывает (прогнозирует) ожидаемые величины указанных критериев для имитационного моделирования процесса токарной обработки (скорость резания 50 м/мин, глубина резания 1 мм, подача 0,21 мм/оборот заготовки) нержавеющей стали марки 09X17H7Ю типовой сменной токарной пластинкой, выполненной из инструментального твёрдого сплава марки BK8.

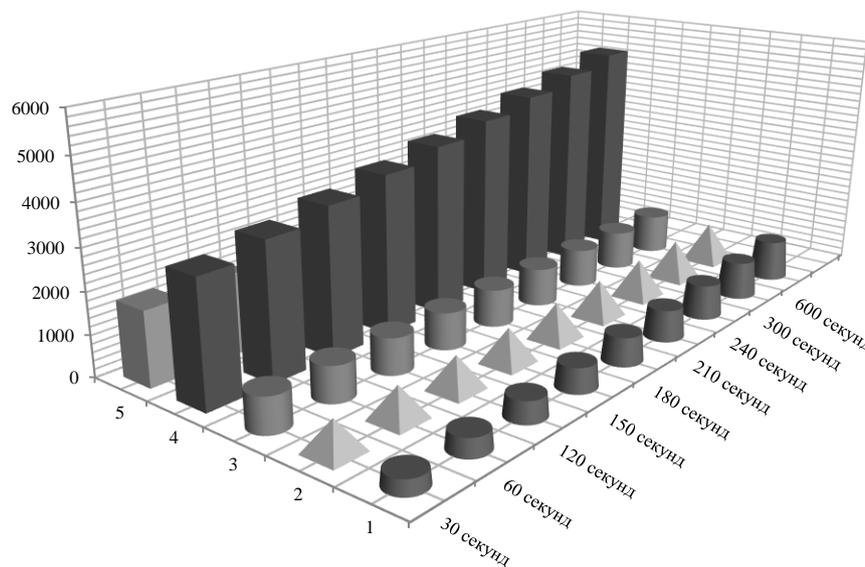


Рис. 5. Номограммы изменения во времени разных критериев исследования при точении инструментом  $VK8+TiCN(5\text{ мкм}) + (TiAl)N(3\text{ мкм}) + Al_2O_3(5\text{ мкм}) + TiC(5\text{ мкм})$  (числа в скобках показывают толщину слоя покрытия в микронах)

*Fig. 5. Nomograms of the change in time of different research criteria when turning with the  $VK8+TiCN(5\text{microns}) + (TiAl)N(3\text{microns}) + Al_2O_3(5\text{microns}) + TiC(5\text{microns})$  tool. (The numbers in brackets show the thickness of the coating layer in microns)*

Сравнение данных, приведённых на номограммах рис. 3 и 4 показывает, что применение покрытия  $TiCN(5\text{мкм}) + (TiAl)N(3\text{мкм}) + Al_2O_3(5\text{мкм}) + TiC(5\text{мкм})$  позволяет прогнозировать снижение силы резания (ряд 5) до 2400 Н (при инструменте  $VK8$  без покрытия сила резания прогнозировалась на уровне 5000 Н). Такое снижение силы резания почти в 2 раза прогнозирует снижение эквивалентных напряжений (ряд 3) в инструментальном материале, снижение величины деформации (ряд 4) инструментального материала, снижение температуры (ряд 2) в зоне резания, что совокупно приводит к снижению величины износа (ряд 1) инструмента.

Построение подобных номограмм для различных вариантов проектируемых инструментальных материалов показало, что каждый инструментальный материал позволяет прогнозировать индивидуальные выходные критерии. Это использовано для того, чтобы выбрать наиболее эффективные инструментальные материалы для разных условий резания. Эти разные условия резания рассмотрены при изменении параметров режима резания (скорость резания, глубина резания, величина подачи), при изменении геометрии инструмента

(трёхгранные, квадратные и пятигранные сменные пластины) и при изменении обрабатываемого материала (кроме стали  $09X17H7Ю$  рассмотрены также труднообрабатываемые нержавеющие стали марок  $12X18H10T$  и  $13X15H5\text{ AM-3}$ ). Отдельные примеры такого исследования показаны на рис. 6, где отражены прогнозируемые темпы прироста величины износа инструмента  $VK8$  без покрытия и инструмента с покрытием  $VK8 + Ti + TiN + (TiAl)N$  при точении разных нержавеющих сталей.

Данные рис. 6 прогнозируют повышение (в сравнении с  $VK8$ ) периода стойкости с 120 минут до 150 минут при обработке стали  $13X15H5\text{ AM-3}$ , а при обработке стали  $12X18H10T$  - с 90 минут до 140 минут.

Необходимо отметить, что полученные имитационным моделированием результаты проектирования эффективных режущих инструментов получили [1 - 3] надёжное экспериментальное подтверждение. Полученные результаты не противоречат сложившимся представлениям и тенденциям [10 - 20] в вопросах проектирования покрытий для металлорежущего инструмента.

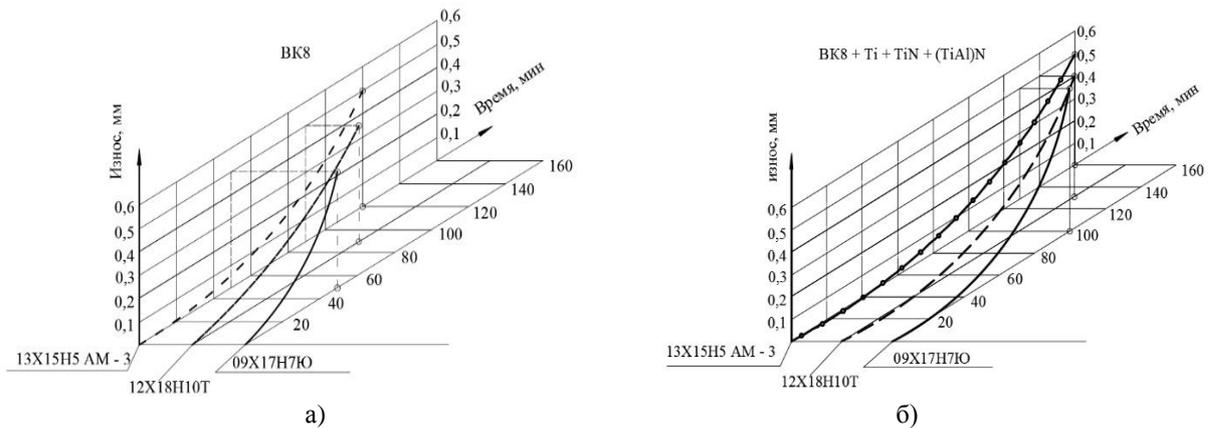


Рис. 6. Сопоставление прогнозируемых периодов стойкости инструмента BK8 без покрытия (а) и BK8+Ti + TiN + (TiAl)N (б) при точении разных нержавеющих сталей  
 Fig. 6. The periods of service life (up to 0.5 mm of wear) of the VK8 tool (a) and the tool, containing one of the developed (б) coatings, when turning different steels

## Заклучение

1. В мировой практике отсутствует системный подход к решению указанной проблемы обеспечения эффективным токарным инструментом современного станочного оборудования для обработки указанных сталей. Нет конкретных рекомендаций ни по выбору твёрдосплавных сменных токарных пластин, ни по рациональным параметрам режима резания, ни по времени работы пластин до допустимой величины износа. В результате имеем следующее:

а) темпы роста требований к физико-механическим характеристикам коррозионностойких нержавеющих сталей превышают темпы создания новых инструментальных материалов, с помощью которых можно эффективно обрабатывать такие стали;

б) создание новых эффективных инструментальных материалов может осуществляться по разным направлениям, в том числе, за счёт нанесения функциональных покрытий на твёрдосплавную инструментальную основу (субстрат);

в) имеется широкий выбор инструментальных материалов ведущих в мире инструментальных производителей, но они дороги чрезвычайно, рекомендации по их применению и режимы резания не применимы для отечественных материалов;

г) необходима разработка новых инструментальных материалов и рекомендаций по их применению;

д) только экспериментальным методом такие инструментальные материалы

нельзя разработать, необходимо иметь научно обоснованную методологию управления работоспособностью инструмента под конкретные или планируемые условия его эксплуатации;

е) в основу разработки такой методологии может быть положены имеющиеся в мире достижения в вопросах робастного проектирования и виртуального компьютерного имитационного моделирования в той или иной программной среде, это обеспечит возможность разработки новых рациональных инструментальных материалов по схеме «твёрдый сплав + покрытие с заданным градиентом свойств», что создаст в инструментальном материале благоприятное сложно-напряженное состояние и приведёт к существенному росту работоспособности инструмента без снижения производительности обработки и качества обработанной поверхности.

2. Разработаны, изготовлены и испытаны инструменты, имеющие разные покрытия. В порядке убывания периода стойкости при равных условиях эксплуатации они расположились в следующей последовательности:

1. BK8+TiCN(5мкм) + (TiAl)N(3мкм) + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(5мкм) + TiC(5мкм);

2. BK8+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(2мкм) + (Ti)CN(5мкм) + (TiAl)N(3мкм) + TiN(3мкм);

3. BK8 + (TiAl)N(3мкм) + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(3мкм) + (TiAl)N(3мкм) + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(3мкм);

4. BK8 + TiN(3мкм) + TiC(3мкм) + TiN(3мкм) + TiC(3мкм);

5. BK8+TiC(3мкм) + TiN(3мкм) + (TiAl)N(2мкм);  
 6. BK8 + TiCN(2мкм) + TiC(3мкм) + TiN(1,5мкм);

7. BK8 + TiC(1,5 мкм) + TiN(3мкм);  
 8. BK8 + TiN(2мкм) + TiC(5мкм);  
 9. BK8 + TiCN(0,5мкм) + TiN(1мкм);  
 10. BK8 + TiN(0,5мкм) + TiC(1мкм).

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Vereschaka A.A., Grigoriev S.N., Sitnikov N.N., Bataka A. Delamination and longitudinal cracking in multi-layered composite nano-structured coating and their influence on cutting tool life // *Wear*. 2017. Vol. 390-391. P.209-219. doi: 10.1016/j.wear.2017.07.021.
2. Li X., Bashkov O.V., Bao F., Zhou C., Shakirova O.G. The research of the features destruction of the of oxide coatings on aluminum alloy by using the method of acoustic emission // *Journal of Physics. Conference Series*. 2019. 1281(1). doi: 10.1088/1742-6596/1281/1/012050.
3. Табаков В.П., Чихранов А.В. Повышение работоспособности твердосплавного инструмента путем направленного выбора рациональных параметров состава износостойкого покрытия // *Станки и инструмент*. 2016. № 3. С. 14-18.
4. Табаков В.П., Смирнов М.Ю., Циркин А.В., Чихранов А.В. Математическое описание процессов трещинообразования в износостойких покрытиях режущего инструмента // *Упрочняющие технологии и покрытия*. 2007. № 6. С. 48-51.
5. Colding B. War characteristics of coated carbide // *International Cutting Tool Bay Sandviken, Lecture*. 11980. – 1969. – №. 5. – С. 1.

6. Horlin H.A. TiC coated cemented carbides - their introduction and impact on metal cutting // *Product Engineering*. 1971. V. 50. № 4,5. P. 153-159. doi: 10.1049/tpe:19710023.
7. Андреев Г.С. Повышение производительности обработки деталей в условиях периодического прерывистого резания // *Вестник машиностроения*. 1978. № 12. С.48-52.
8. Остафьев В.А. Учет прочности инструмента при его проектировании и эксплуатации // *Станки и инструмент*. 1983. № 7. С. 19-20.
9. Кабалдин Ю.Г., Шпилев А.М. Повышение надежности процессов механообработки в автоматизированном производстве. Владивосток: Дальнаука, 1996. 264 с.
10. Lin Z., Wang L., Zhan J., Mao H.K., Zhao Y. Nanocrystalline tungsten carbide: As incompressible as diamond // *Applied Physics Letters*. 2009. 95. 211906.
11. Novikov N.V., Lysenko O.G., Devin L.N. AE diagnostics of polycrystalline superhard materials ruptures // *Сверхтвердые материалы*. 1991. №4. С. 33-36.

## REFERENCES

1. Vereschaka A.A., Grigoriev S.N., Sitnikov N.N., Bataka A. Delamination and longitudinal cracking in multi-layered composite nano-structured coating and their influence on cutting tool life // *Wear*. 2017. Vol. 390-391. P.209-219. doi: 10.1016/j.wear.2017.07.021.
2. Li X., Bashkov O.V., Bao F., Zhou C., Shakirova O.G. The research of the features destruction of the of oxide coatings on aluminum alloy by using the method of acoustic emission // *Journal of Physics. Conference Series*. 2019. 1281(1). doi: 10.1088/1742-6596/1281/1/012050.
3. Tabakov V.P., Chikhranov A.V. Improving the performance of a carbide tool by directional selection of the rational parameters of the composition of the wear-resistant coating // *Stanki I Instrument [Machines and tools]*. 2016. No. 3. pp. 14-18.
4. Tabakov V.P., Smirnov M.Yu., Tsrirkin A.V., Chikhranov A.V. Mathematical description of crack formation processes in wear-resistant coatings of cutting tools // *Strengthening Technologies and Coatings*. 2007. No. 6. pp. 48-51.
5. Colding B. War characteristics of coated carbide // *International Cutting Tool Bay Sandviken, Lecture*. 11980. – 1969. – №. 5. – С. 1.

6. Horlin H.A. TiC coated cemented carbides - their introduction and impact on metal cutting // *Product Engineering*. 1971. V. 50. № 4,5. P. 153-159. doi: 10.1049/tpe:19710023.
7. Andreev G.S. Improving the productivity of machining parts in conditions of periodic intermittent cutting // *Vestnik Mashinostroeniya*. 1978. № 12. С.48-52.
8. Ostafyev V.A. Taking into account the strength of the tool in its design and operation // *Stanki I Instrument [Machines and tools]*. 1983. No. 7. pp.19-20.
9. Kabaldin Yu.G., Shpilev A.M. Improving the reliability of machining processes in automated production. Vladivostok: Dalnauka, 1996. 264 p.
10. Lin Z., Wang L., Zhan J., Mao H.K., Zhao Y. Nanocrystalline tungsten carbide: As incompressible as diamond // *Applied Physics Letters*. 2009. 95. 211906.
11. Novikov N.V., Lysenko O.G., Devin L.N. AE diagnostics of polycrystalline superhard materials ruptures // *Journal of Superhard Materials*. 1991. №4. pp. 33-36.

Ссылка для цитирования:

Мокрицкий, Б.Я. Твёрдосплавные пластины и покрытия к ним для точения труднообрабатываемых нержавеющей сталей / Б. Я. Мокрицкий, В. Ю. Шелковников, Э. С. Ситамов, А. В. Морозова, Е. Б. Мокрицкая // *Транспортное машиностроение*. – 2022. - № 1-2. – С. 60 – 68. doi: 10.30987/2782-5957-2022-01-02-60-68.

#### Информация об авторах:

**Мокрицкий Борис Яковлевич**, доктор технических наук, профессор кафедры «Машиностроение», главный научный сотрудник УНИД Комсомольского-на-Амуре государственного университета, тел. (4217)241-117, международные идентификационные номера автора: Scopus-Author ID 6506877780, Research-ID-Web of Science E-1700-2015, Author-ID-РИНЦ 646953.

**Шелковников Вадим Юрьевич**, магистрант Комсомольского-на-Амуре государственного университета, тел. (4217)241-177.

**Ситамов Эрадж Сикандарович**, кандидат технических наук, аспирант Комсомольского-на-Амуре

**Mokritskiy Boris Yakovlevich**, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Mechanical Engineering, Chief Researcher of the Department of Research Activities at Komsomolsk-na-Amure State University, phone: (4217)241-117, international identifications of the author: Scopus-Author ID 6506877780, Research-ID-Web of Science E-1700-2015, Author-ID-РИНЦ 646953.

**Shelkovnikov Vadim Yuryevich**, Master of Komsomolsk-na-Amure State University, phone: (4217)241-177.

**Sitamov Eraj Sikandarovich**, Candidate of Technical

государственного университета, тел. (924) 401- 01-27.

**Морозова Анна Валентиновна**, кандидат социологических наук, докторант, начальник управления Брянского государственного технического университета, Почетный работник профессионального образования, тел. (919) 202-70-07, международные идентификационные номера автора: Scopus-Author ID 57188849199, Research-ID-Web of Science ABC-1852-2021, Author-ID-РИНЦ 176672.

**Мокрицкая Елена Борисовна**, кандидат технических наук, доцент Дальневосточного федерального университета, тел. 8-914-343-68-26.

Sciences, Postgraduate student of Komsomolsk-na-Amure State University, phone: 924) 401- 01-27.

**Morozova Anna Valentinovna**, Candidate of Sociological Sciences, Doctoral student, Head of Department at Bryansk State Technical University, Honorary Worker of Professional Education, phone: (919) 202-70-07, international identifications of the author: Scopus-Author ID 57188849199, Research-ID-Web of Science ABC-1852-2021, Author-ID-РИНЦ 176672.

**Mokritskaya Elena Borisovna**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Far Eastern Federal University, phone: 8-914-343-68-26.

**Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.**  
**Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.**

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.**  
**The authors declare no conflicts of interests.**

Статья поступила в редакцию 31.10.2021; одобрена после рецензирования 22.12.2021; принята к публикации 15.01.2022. Рецензент – Соловьев Д.Л., доктор технических наук, профессор Муромского филиала (института) Владимирского государственного университета, член редсовета журнала «Транспортное машиностроение».

The article was submitted to the editorial office on 31.10.2021; approved after review on 22.12.2021; accepted for publication on 15.01.2022. The reviewer is Solovyov D.L., Doctor of Technical Sciences, Professor of Murom Branch (Institute) of Vladimir State University, member of the Editorial Board of the journal *Transport Engineering*.