

УДК 621.941.1

doi: 10.18698/0536-1044-2023-1-13-20

# Расчетные показатели износа и стойкости канавочных резцов с износостойкими покрытиями

С.В. Грубый<sup>1</sup>, П.А. Чаевский<sup>2</sup>

<sup>1</sup> МГТУ им. Н.Э. Баумана

<sup>2</sup> ООО «Бизнес Инжиниринг»

## Design Indicators of Wear and Resistance of Grooving Cutters with the Wear-Resistant Coatings

S.V. Grubiy<sup>1</sup>, P.A. Chaevskiy<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Bauman Moscow State Technical University

<sup>2</sup> Business Engineering LLC

Рассмотрена методика расчета скорости изнашивания, износа и стойкости канавочных твердосплавных резцов с износостойкими покрытиями на примере обработки заготовок из коррозионно-стойкой стали. Используются полиномиальные уравнения, характеризующие падение твердости износостойких покрытий как функций температуры. Получено предельное значение линейного износа по задней поверхности твердосплавных резцов с покрытиями. Рассчитаны зависимости износа и стойкости инструмента от скорости резания, толщины и ширины срезаемого слоя. Показано, что скорость резания для твердосплавных резцов с износостойкими покрытиями можно увеличить в 2–3 раза по сравнению с таковой для инструмента без покрытий. Определены предельные значения скорости и температуры резания, обеспечивающие стойкость не менее 10 мин.

**Ключевые слова:** твердый сплав, твердость износостойкого покрытия, линейный износ, скорость изнашивания, стойкость инструмента

The article considers method of calculating the rate of wear, ageing and resistance of the hard alloyed grooving cutters with the wear-resistant coatings on the example of machining workpieces made of corrosion-resistant steel. Polynomial equations were used characterizing the drop in hardness of the wear-resistant coatings as a function of temperature. Limiting value of the linear wear along the back surface of the coated hard alloyed cutters was obtained. Wear and resistance dependences on cutting speed, thickness and width of the cut layer were calculated. It was shown that cutting speed for the hard alloyed cutters with the wear-resistant coatings could be increased by 2–3 times compared to the tool speed without coatings. Limiting values of speed and cutting temperature were determined providing resistance of at least 10 minutes.

**Keywords:** hard alloy, wear-resistant coating hardness, linear wear, wear rate, tool resistance

На машиностроительных предприятиях широко используют цельные, составные или сборные твердосплавные режущие инструменты (далее инструменты) в зависимости от технологической оснащенности производства. Основными тенденциями развития такого ин-

струмента, в том числе изготавливаемого собственными средствами на предприятии, является увеличение их количества со сменными многогранными пластинами (СМП), а также нанесение износостойких покрытий на инструмент.

За последнее десятилетие на машиностроительных предприятиях увеличилась доля сборных инструментов с СМП. Однако сборные инструменты с режущими кромками фасонного профиля, к которым относятся канавочные резцы (КР), применяют ограниченно.

Чтобы экономическая эффективность специального и специализированного инструмента с режущими кромками фасонного профиля была максимальной, необходимо не только оптимизировать его конструкцию, используя износостойкие покрытия, но и определять оптимальные режимные параметры обработки.

Цель исследования — разработка расчетной методики определения параметров изнашивания и износа сборных твердосплавных КР с износостойкими покрытиями.

Результаты исследований, направленных на разработку, изучение и применение твердосплавных инструментов с износостойкими покрытиями, приведены во многих научных и учебно-методических публикациях, например, в [1–6].

Освещены вопросы по выбору твердосплавной основы, составу, количеству и толщине слоев, свойствам, областям и режимам применения, методам нанесения покрытий на контактные поверхности инструмента и др. В частности, отмечено, что износостойкое покрытие можно рассматривать как некоторую промежуточную технологическую среду между инструментальным (ИМ) и обрабатываемым (ОМ) материалами.

Обоснована концепция использования многослойно-композиционных покрытий, у которых наружный слой выполняет основную функцию повышения износостойкости, промежуточный (переходный) слой служит барьером тепловым потокам и диффузии, нивелируя разницу в свойствах наружного и адгезионного слоев, а адгезионный слой (подслой) обеспечивает необходимую прочность сцепления покрытия с ИМ.

Инструментальные фирмы рекомендуют широкий спектр износостойких покрытий, в том числе одно- и многослойных, наноструктурированных [7, 8].

Вместе с тем механизм и количественные соотношения процесса изнашивания твердосплавных инструментов с износостойкими покрытиями изучен в основном экспериментально. Расчетные зависимости не доведены до уровня, который позволяет оценить изменение

показателей изнашивания во времени для заданных условий и режимных параметров обработки.

В работах [9, 10] предложено использовать автоматизированный расчет скорости изнашивания, износа и стойкости инструмента. Автоматизированный расчет выполнен для модели стружкообразования с «условной плоскостью сдвига», положение которой по отношению к направлению скорости резания задано углом сдвига. Использована зависимость для расчета среднего значения угла сдвига, учитывающая влияние параметров срезаемого слоя и упругих свойств ОМ и ИМ.

Контактные давления найдены через силы резания и площади контакта на поверхностях лезвия с учетом общепринятых эпюр их распределения. Силы, действующие на задней поверхности инструмента, определены через контактные давления и средний коэффициент трения. Суммарные составляющие силы резания учитывают действие сил со стороны передней и задней поверхностей инструмента.

В расчетах непосредственное влияние износостойкого покрытия учтено через поправочные коэффициенты на коэффициент укорочения (утолщения) стружки и коэффициент трения на задней поверхности инструмента.

Разупрочнение под действием температуры для различных марок ОМ учтено по результатам испытаний, приведенных в справочной литературе. Для каждой марки ОМ подобрано свое уравнение, аппроксимирующее влияние температуры. Также при моделировании процесса принято во внимание разупрочнение ИМ.

Для теплофизического расчета рассмотрены источники теплоты деформации в зоне стружкообразования и трения на передней и задней контактных площадках. Определены интенсивности итоговых тепловых потоков и температуры деформации (на поверхности сдвига) на передней и задней поверхностях. Температура резания отражает усредненный вклад температур контактных площадок.

Изменение температуры на контактной площадке пропорционально тепловому потоку и толщине износостойкого покрытия. С учетом того, что толщина покрытия в десятки раз меньше толщины СМП, для расчетов в качестве теплофизического параметра использован коэффициент теплопроводности твердого сплава основы — основного ИМ.

Для выбранной пары ИМ — ОМ влияние режимных параметров сказывается через изменение температуры резания и связанное с ней изменение физических параметров материалов.

Установленные количественные связи и внутренние аппроксимации физической модели позволяют дать характеристику процесса изнашивания задней поверхности инструмента с помощью скорости изнашивания в направлении вектора скорости резания (тангенциальной)  $I_{nt}$ , мм/мин. Для расчета скорости изнашивания и износа инструмента использован обобщенный параметр, справедливость применения которого подтверждена для различных групп ОМ в монографии [9].

В качестве обобщенного параметра предложено отношение скорости резания  $v$ , м/с, к твердости по Виккерсу изнашиваемой поверхности инструмента  $HV$ , МПа, как функции температуры резания  $T_p$ , °С:

$$x = v/HV(T_p).$$

Функционально скорость изнашивания связана с обобщенным параметром  $I_{nt} = f(x)$  степенными уравнениями для отдельных групп ОМ. Например, для обработки конструкционных углеродистых, легированных, коррозионно-стойких сталей твердосплавным инструментом соответствующее уравнение имеет вид

$$I_{nt} = f(x) = f[v/HV(T_p)] = 1,03 \cdot 10^7 (v/HV)^{2,47}. \quad (1)$$

С помощью уравнения (1) можно рассчитать зависимость износа от времени численным интегрированием для заданных условий обработки.

Разработанная методика использована для расчета скорости изнашивания, износа, стойкости и оптимизации конструкции твердосплавных КР при обработке заготовок из конструкционной стали 40Х, стали 45 и коррозионно-стойкой стали 12Х18Н10Т. В качестве ИМ приняты стандартные твердые сплавы. Результаты анализа износа, стойкости и прочности КР для этих условий обработки приведены в работах [11, 12].

Эффективность инструмента можно значительно повысить применением износостойких покрытий.

Вместе с тем уравнение (1) можно использовать для расчета скорости изнашивания и последующего анализа износа и стойкости инструмента, если известна твердость покрытия как функция температуры.

Твердость ИМ падает с увеличением температуры. В монографиях Г.С. Креймера и А.И. Бетанели для аппроксимации зависимости твердости твердого сплава от температуры предложено использовать экспоненциальное уравнение

$$HV = A \exp(-BT),$$

где  $A, B$  — параметры аппроксимации;  $T$  — абсолютная температура, К.

Для расчета параметров необходимо иметь данные о твердости ИМ в широком диапазоне температуры.

Вместе с тем для конкретных марок твердых сплавов и износостойких покрытий значения твердости в зависимости от температуры в различных литературных источниках представлены в таблицах или на графиках, и количественно в виде аппроксимирующих уравнений не определены.

В монографии [9] приведены аппроксимирующие линейные зависимости твердости от температуры, полученные по экспериментальным данным М.Г. Лозинского, Н.Ф. Казакова, А.И. Бетанели, А.С. Верещака и И.П. Третьякова. В частности, отражено влияние температуры  $T_p$ , °С, на твердость  $HV$  или микротвердость  $H_\mu$ , МПа, твердого сплава ВК6 и твердого сплава с различными износостойкими покрытиями:

- для ВК6

$$HV = 14031,09 - 11,66T_p;$$

- для ВК6-TiC

$$H_\mu = 30819,5 - 27,9T_p;$$

- для ВК6-TiN

$$H_\mu = 24495,2 - 22,7T_p;$$

- для ВК6-(Ti-Cr)N

$$H_\mu = 23095,4 - 17,9T_p.$$

Базу аппроксимирующих зависимостей твердости от температуры резания можно расширить для новых экспериментальных данных по твердым сплавам и износостойким покрытиям. В частности, в статье [13] приведены экспериментальные зависимости твердости некоторых используемых на практике износостойких покрытий от температуры резания.

Например, на рис. 1 приведена экспериментальная зависимость твердости износостойкого покрытия AlCrN от температуры резания. Видно, что до температуры резания 600...700 °С

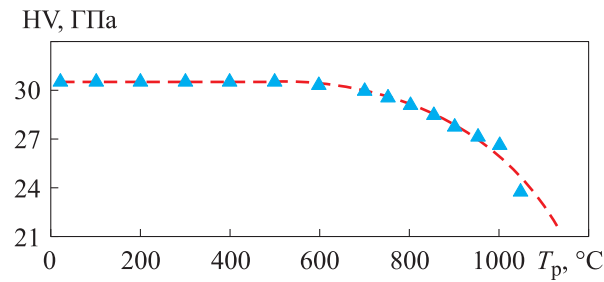


Рис. 1. Экспериментальная ( $\blacktriangle$ ) и аппроксимирующая (— —) зависимости твердости износостойкого покрытия AlCrN от температуры резания  $T_p$

твердость износостойкого покрытия слабо зависит от нее, но с повышением  $T_p$  твердость покрытия существенно снижается.

Температурные зависимости твердости HV, МПа, аппроксимированы полиномом

$$HV = b_1 + b_2x + b_3x^2 + b_4x^3 + b_5x^4 + b_6x^5, \quad (2)$$

где  $x$  — температура,  $^\circ\text{C}$ .

Значения коэффициентов полиномиального уравнения (2) для различных износостойких покрытий приведены в табл. 1.

Исследование проведено для условий точечного резания КР по расчетной схеме свободно-прямоугольного резания при следующих базовых условиях: заготовка выполнена из коррозионно-стойкой стали 12X18H10T; передний угол резца  $\gamma = 10^\circ$ ; задний угол  $\alpha = 8^\circ$ , радиус округления режущей кромки  $\rho = 0,01$  мм; ширина срезаемого слоя  $b = 2$  мм; толщина срезаемого слоя  $a = 0,2$  мм; основной ИМ — твердый сплав ВК6; износостойкие покрытия — TiAlN, AlTiN, TiCN и AlCrN. В качестве базового принято покрытие AlCrN.

Экспериментальные исследования по точечному твердосплавными резцами с износостойкими покрытиями заготовок из конструкционных сталей показывают, что при износе инструмента по задней поверхности  $h_z > 0,1$  мм наблюдается резкое увеличение интенсивности

изнашивания [13–15]. Поэтому в качестве максимально допустимого износа инструмента по задней поверхности принято  $h_z = 0,1$  мм.

В результате исследования получены следующие результаты:

- зависимости линейного износа КР по задней поверхности от времени обработки (кривые износа) заготовок из сталей 40X (закаленной, HRC 50), 45 и коррозионно-стойкой стали 12X18H10T со скоростью резания  $v = 260$  м/мин (рис. 2);

- зависимости износа КР по задней поверхности  $h_z$  от времени обработки  $\tau$  заготовки из коррозионно-стойкой стали 12X18H10T со скоростью резания  $v = 180, 210, 260$  и  $280$  м/мин (рис. 3);

- зависимости стойкости КР  $T$  от скорости резания  $v$  при его износе по задней поверхности  $h_z = 0,10$  и  $0,05$  мм (рис. 4);

- зависимости стойкости  $T$  КР с износостойкими покрытиями TiCN, TiAlN, AlTiN и AlCrN от скорости резания  $v$  (рис. 5);

- зависимости износа КР по задней поверхности  $h_z$  от времени обработки  $\tau$  заготовки из коррозионно-стойкой стали 12X18H10T со скоростью резания  $v = 210$  м/мин при толщине срезаемого слоя  $a = 0,1; 0,2$  и  $0,3$  мм (рис. 6).

Для малых толщин срезаемого слоя ( $a < 0,1$  мм) с ее уменьшением стойкость инструмента возрастает, но незначительно. Зависимость стойкости твердосплавного КР с покрытием AlCrN от толщины срезаемого слоя аппроксимирована полиномиальным уравнением

$$T = 2435,2a^3 - 1466,8a^2 + 68,969a + 50,844.$$

С уменьшением ширины срезаемого слоя стойкость КР увеличивается. Для базовых условий обработки в диапазоне  $b = 0,5 \dots 6,0$  мм ширина срезаемого слоя оказывает влияние на стойкость КР по степенной зависимости

$$T = 28,93b^{-0,23}.$$

Таблица 1

Значения коэффициентов полиномиального уравнения (2) для различных износостойких покрытий

Износостойкое покрытие	$b_1$	$b_2$	$b_3$	$b_4$	$b_5$	$b_6$
AlCrN	30 430	1,866	-0,009998	$2,173 \cdot 10^{-5}$	$-1,808 \cdot 10^{-8}$	0
TiAlN	33 750	-38,980	0,400000	$-1,426 \cdot 10^{-3}$	$1,977 \cdot 10^{-6}$	$-9,440 \cdot 10^{-10}$
AlTiN	31 430	76,710	-0,407500	$6,754 \cdot 10^{-4}$	$-3,639 \cdot 10^{-7}$	0
TiCN	30 220	-11,800	0,138900	$-6,243 \cdot 10^{-4}$	$1,194 \cdot 10^{-6}$	$-8,063 \cdot 10^{-10}$

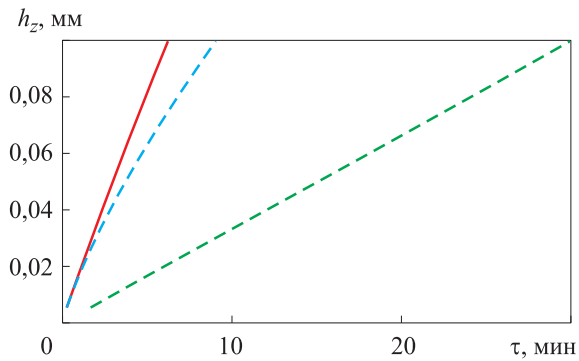


Рис. 2. Зависимости износа КР по задней поверхности  $h_z$  от времени обработки  $\tau$  заготовок из сталей 40Х (—), 45 (---) и коррозионно-стойкой стали 12Х18Н10Т (-.-) со скоростью резания  $v = 260$  м/мин

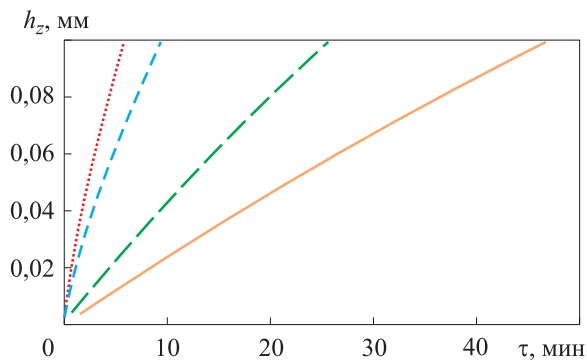


Рис. 3. Зависимости износа КР по задней поверхности  $h_z$  от времени обработки  $\tau$  заготовки из коррозионно-стойкой стали 12Х18Н10Т со скоростью резания  $v = 180$  (—), 210 (---), 260 (-.-) и 280 м/мин (.....)

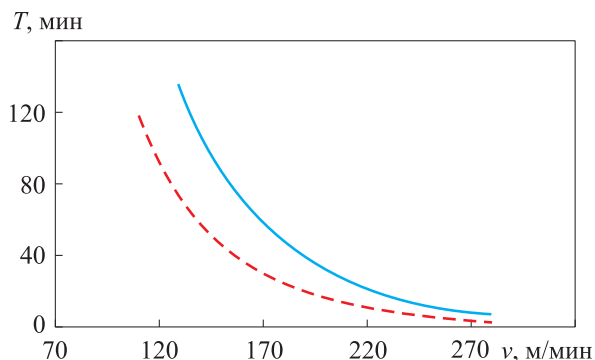


Рис. 4. Зависимости стойкости КР  $T$  от скорости резания  $v$  при износе по задней поверхности  $h_z = 0,10$  (—) и  $0,05$  мм (---)

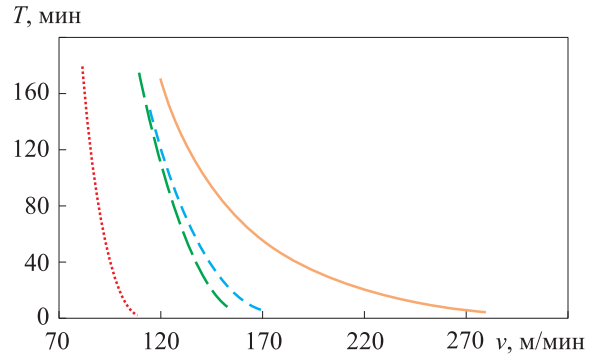


Рис. 5. Зависимости стойкости  $T$  КР с износостойкими покрытиями TiCN (.....), TiAlN (---), AlTiN (-.-) и AlCrN (—) от скорости резания  $v$

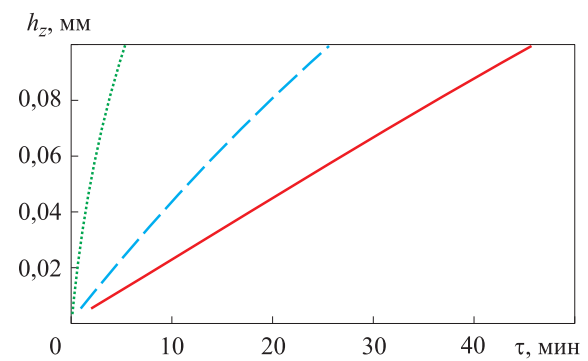


Рис. 6. Зависимости износа КР по задней поверхности  $h_z$  от времени обработки  $\tau$  заготовки из коррозионно-стойкой стали 12Х18Н10Т со скоростью резания  $v = 210$  м/мин при толщине срезаемого слоя  $a = 0,1$  (—),  $0,2$  (-.-) и  $0,3$  мм (.....)

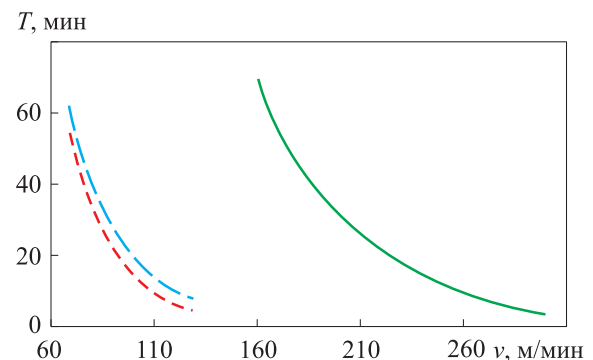


Рис. 7. Зависимости стойкости  $T$  КР из твердых сплавов ВК6М (—), Т15К6 (---) без покрытия и ВК6 с покрытием AlCrN (—) от скорости резания  $v$

Для твердосплавных КР с износостойкими покрытиями можно значительно повысить скорость резания по сравнению с таковой для обычного твердосплавного инструмента. Зависимости стойкости КР из твердых сплавов ВК6М и Т15К6 без покрытия и ВК6 с покрытием AlCrN от скорости резания приведены на рис. 7.

Приняты максимально допустимые значения износа КР по задней поверхности: для твердого сплава ВК6 с покрытием AlCrN  $h_z = 0,1$  мм; для твердых сплавов ВК6М и Т15К6  $h_z = 0,3$  мм. Значения параметров степенной зависимости  $v = C_v/T^{m_v}$  для различных ИМ приведены в табл. 2.

Таблица 2

Значения параметров степенной зависимости для различных ИМ

ИМ	$C_v$	$m_v$
ВК6–AlCrN	404,4	0,21
ВК6М	243,3	0,30
T15K6	196,2	0,26

Таблица 3

Значения скорости и температуры резания для стойкости КР  $T = 10$  мин

Износостойкое покрытие	$v$ , м/мин	$T_p$ , °C
AlCrN	255,0	1135,0
TiAlN	152,3	935,8
AlTiN	165,2	964,7
TiCN	102,8	809,6

Расчетные значения стойкости, температуры резания для КР с износостойкими покрытиями можно аппроксимировать обобщенными уравнениями. Методика аппроксимации степенными и полиномиальными уравнениями расчетных значений стойкости инструмента, составляющих силы и температуры резания как функций режимных параметров подробно рассмотрена в работах [9, 10].

По результатам проведенного анализа подтверждены известные экспериментальные данные о существенном влиянии температуры резания на стойкость твердосплавного инструмента с износостойкими покрытиями. Для каждого покрытия существует своя предельная температура, непосредственно связанная со скоростью резания.

Значения скорости и температуры резания, при которой стойкость твердосплавных КР с

износостойкими покрытиями  $T = 10$  мин приведены табл. 3. Отмеченные температуры резания являются предельными для соответствующих покрытий. Повышение скорости резания приводит к росту температуры резания выше значений, указанных в табл. 3, и к существенному падению стойкости инструмента.

Имея расчетные значения стойкости твердосплавных резцов с износостойкими покрытиями, можно планировать и проводить трудоемкие стойкостные эксперименты только как проверочные и уточняющие.

Для расширения рассмотренной методики на различные составы износостойких покрытий необходимо количественно представить твердость соответствующего покрытия как функцию температуры резания на примере уравнения (2) и значений коэффициентов, указанных в табл. 1.

На основании приведенных в литературных источниках экспериментальных кривых износа и по результатам исследования контактных площадок на твердосплавных резцах с износостойкими покрытиями предельное значение износа инструмента по задней поверхности должно находиться в диапазоне  $h_z = 0,05... 0,10$  мм.

## Выводы

1. Скорость резания для твердосплавных резцов с современными многослойными износостойкими покрытиями можно повысить в 2–3 раза по сравнению с таковой для инструментов без покрытий.

2. Предложенная расчетная методика позволяет определять количественно рациональные режимные параметры для твердосплавных инструментов с износостойкими покрытиями, в частности для КР.

## Литература

- [1] Верещака А.С., Третьяков И.П. *Режущие инструменты с износостойкими покрытиями*. Москва. Машиностроение. 1986. 192 с.
- [2] Верещака А.С. *Работоспособность режущего инструмента с износостойкими покрытиями*. Москва. Машиностроение. 1993. 336 с.
- [3] Верещака А.С., Аникеев А.И., Дачева А.В. Повышение эффективности резания труднообрабатываемых материалов с применением инструмента с наноструктурированным износостойким покрытием. *Технология машиностроения*, 2010, № 3, с. 17–22.
- [4] Табаков В.П., Смирнов М.Ю., Циркин А.В. *Работоспособность торцовых фрез с многослойными износостойкими покрытиями*. Ульяновск. УлГТУ. 2005. 152 с.
- [5] Табаков В.П., Чихранов А.В. *Износостойкие покрытия режущего инструмента, работающего в условиях непрерывного резания*. Ульяновск. УлГТУ. 2007. 255 с.

- [6] Мокрицкий Б.Я., Ситамов Э.С., Серебренникова А.Г. Повышение работоспособности твердосплавного режущего инструмента за счет нанесения покрытий. *Вестник Иркутского государственного технического университета*, 2019, т. 23, № 2, с. 246–251, doi: <https://doi.org/10.21285/1814-3520-2019-2-246-251>
- [7] Hartner. *Материалы и покрытия*. *hartner.intertull.rf: веб-сайт*. URL: <http://hartner.xn--e1afkahtmcj.xn--p1ai/> (дата обращения: 15.05.2022).
- [8] PLATIT. Coating guide. *platit.com: веб-сайт*. URL: <https://www.platit.com/en/products/coating-guide/> (дата обращения: 15.05.2022).
- [9] Грубый С.В. *Оптимизация процесса механической обработки и управление режимными параметрами*. Москва. Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2014. 149 с.
- [10] Грубый С.В. *Расчет параметров и показателей процесса резания*. Москва, Вологда. Инфра-Инженерия. 2020. 192 с.
- [11] Chaevskiy P.A., Grubiy S.V. Optimization of prefabricated tools for effective machining of rocket and space technology parts. *AIP Conf. Proc.*, 2021, vol. 2318, art. 150002, doi: <https://doi.org/10.1063/5.0036167>
- [12] Grubiy S.V., Chaevskiy P.A. Improving efficiency of grooves and slots machining with components used in rocket and space industry. *AIP Conf. Proc.*, 2019, vol. 2171, art. 170017, doi: <https://doi.org/10.1063/1.5133328>
- [13] Lin Y.L., Agrawal A., Fang Y. Wear progressions and tool life enhancement with AlCrN coated inserts in high-speed dry and wet steel lathing. *Wear*, 2008, no. 264, no. 3–4, pp. 226–234, doi: <https://doi.org/10.1016/j.wear.2007.03.007>
- [14] Samir K., Khrais Y.J. Lin. Wear mechanisms and tool performance of TiAlN PVD coated inserts during machining of AISI 4140 steel. *Wear*, 2007, vol. 262, no. 1–2, pp. 64–69, doi: <https://doi.org/10.1016/j.wear.2006.03.052>
- [15] Park K.H., Kwonb P.Y. Flank wear of multi-layer coated tool. *Wear*, 2011, vol. 270, no. 11–12, pp. 771–780, doi: <https://doi.org/10.1016/j.wear.2011.01.030>

## References

- [1] Vereshchaka A.S., Tret'yakov I.P. *Rezhushchie instrumenty s iznosostoykimi pokrytiyami* [Cutting instruments with wearing-resistant coatings]. Moscow. Mashinostroenie Publ., 1986. 192 p. (In Russ.).
- [2] Vereshchaka A.S. *Rabotosposobnost' rezhushchego instrumenta s iznosostoykimi pokrytiyami* [Workability of cutting instruments with wearing-resistant coatings]. Moscow. Mashinostroenie Publ., 1993. 336 p. (In Russ.).
- [3] Vereshchaka A.S., Anikeev A.I., Dacheva A.V. Raising cutting efficiency of heavy-duty materials using instruments with nanostructured wearing-resistant coatings. *Tekhnologiya mashinostroeniya*, 2010, no. 3, pp. 17–22. (In Russ.).
- [4] Tabakov V.P., Smirnov M.Yu., Tsirkin A.V. Workability of an end cutter with multilayered wearing-resistant coatings. Ulyanovsk, UIGTU Publ., 2005. 152 p. (In Russ.).
- [5] Tabakov V.P., Chikhranov A.V. *Iznosostoykie pokrytiya rezhushchego instrumenta, rabotayushchego v usloviyakh nepreryvnogo rezaniya* [Wearing-resistant coatings of cutting instrument working in continuous regime]. Ulyanovsk. UIGTU Publ., 2007. 255 p. (In Russ.).
- [6] Mokritskiy B.Ya., Sitamov E.S., Serebrennikova A.G. Improving carbide cutting tool performance through coating. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Proceedings of Irkutsk State Technical University], 2019, vol. 23, no. 2, pp. 246–251, doi: <https://doi.org/10.21285/1814-3520-2019-2-246-251> (in Russ.).
- [7] Hartner. *Materialy i pokrytiya* [Hartner. Materials and coatings]. *hartner.intertull.rf: website*. URL: <http://hartner.xn--e1afkahtmcj.xn--p1ai/> (accessed: 15.05.2022). (In Russ.).
- [8] PLATIT. Coating guide. *platit.com: website*. URL: <https://www.platit.com/en/products/coating-guide/> (accessed: 15.05.2022).
- [9] Grubiy S.V. *Optimizatsiya protsessa mekhanicheskoy obrabotki i upravlenie rezhimnymi parametrami* [Optimization of mechanical processing and management of regime parameters]. Moscow. Bauman MSTU Publ., 2014. 149 p. (In Russ.).

- [10] Grubyi S.V. *Raschet parametrov i pokazateley protsessa rezaniya* [Calculation of parameters and characteristics of a cutting process]. Moscow. Vologda. Infra-Inzheneriya Publ., 2020. 192 p. (In Russ.).
- [11] Chaevskiy P.A., Grubyi S.V. Optimization of prefabricated tools for effective machining of rocket and space technology parts. *AIP Conf. Proc.*, 2021, vol. 2318, art. 150002, doi: <https://doi.org/10.1063/5.0036167>
- [12] Grubyi S.V., Chaevskiy P.A. Improving efficiency of grooves and slots machining with components used in rocket and space industry. *AIP Conf. Proc.*, 2019, vol. 2171, art. 170017, doi: <https://doi.org/10.1063/1.5133328>
- [13] Lin Y.L., Agrawal A., Fang Y. Wear progressions and tool life enhancement with AlCrN coated inserts in high-speed dry and wet steel lathing. *Wear*, 2008, no. 264, no. 3–4, pp. 226–234, doi: <https://doi.org/10.1016/j.wear.2007.03.007>
- [14] Samir K., Khrais Y.J. Lin. Wear mechanisms and tool performance of TiAlN PVD coated inserts during machining of AISI 4140 steel. *Wear*, 2007, vol. 262, no. 1–2, pp. 64–69, doi: <https://doi.org/10.1016/j.wear.2006.03.052>
- [15] Park K.H., Kwonb P.Y. Flank wear of multi-layer coated tool. *Wear*, 2011, vol. 270, no. 11–12, pp. 771–780, doi: <https://doi.org/10.1016/j.wear.2011.01.030>

Статья поступила в редакцию 29.06.2022

## Информация об авторах

**ГРУБЫЙ Сергей Витальевич** — доктор технических наук, заведующий кафедрой «Инструментальная техника и технологии». МГТУ им. Н.Э. Баумана (105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, к. 1, e-mail: [grusv@yandex.ru](mailto:grusv@yandex.ru)).

**ЧАЕВСКИЙ Павел Алексеевич** — руководитель проекта. ООО «Бизнес Инжиниринг» (129626, Москва, ул. 3-я Мытищинская, д. 16, стр. 5, e-mail: [Pchaevskiy@mail.ru](mailto:Pchaevskiy@mail.ru)).

## Information about the authors

**GRUBYI Sergey Vitalievich** — Doctor of Science (Eng.), Head of Tools and Tooling Technology Department. Bauman Moscow State Technical University (105005, Moscow, Russian Federation, 2<sup>nd</sup> Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1, e-mail: [grusv@yandex.ru](mailto:grusv@yandex.ru)).

**CHAEVSKIY Pavel Alekseevich** — Project Manager. Business Engineering LLC (129626, Moscow City, 3<sup>rd</sup> Mytishchinskaya St., Bldg. 16, Block 5, e-mail: [Pchaevskiy@mail.ru](mailto:Pchaevskiy@mail.ru)).

### Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:

Грубый С.В., Чаевский П.А. Расчетные показатели износа и стойкости канавочных резцов с износостойкими покрытиями. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*, 2023, № 1, с. 13–20, doi: [10.18698/0536-1044-2023-1-13-20](https://doi.org/10.18698/0536-1044-2023-1-13-20)

### Please cite this article in English as:

Grubyi S.V., Chaevskiy P.A. Design Indicators of Wear and Resistance of Grooving Cutters with the Wear-Resistant Coatings. *BMSTU Journal of Mechanical Engineering*, 2023, no. 1, pp. 13–20, doi: [10.18698/0536-1044-2023-1-13-20](https://doi.org/10.18698/0536-1044-2023-1-13-20)