

# Машиностроение и машиноведение

УДК 621.9-05

doi: 10.18698/0536-1044-2021-2-3-8

## Инструментальные материалы для токарной обработки специализированных нержавеющей сталей

**Б.Я. Мокрицкий, Э.С. Ситамов**

Комсомольский-на-Амуре государственный университет

## Tool Materials for Turning Specialized Corrosion-Resistant Stainless Steels

**B.Y. Mokritskiy, E.S. Sitamov**

Komsomolsk-na-Amure State University

Рассмотрены вопросы повышения периода стойкости инструмента при точении специализированных труднообрабатываемых нержавеющей сталей 09X17H7Ю, 12X18H10T и 13X15H5AM3 типовыми сменными твердосплавными режущими пластинами. Для выработки рекомендаций по сокращению расхода инструмента выполнен комплекс экспериментальных и имитационных исследований. Имитационное моделирование проведено в программной среде Deform по трем параметрам: температуре, напряжению и деформации. Результаты моделирования сопоставлены с эксплуатационным параметром (износом инструментального материала). Имитационное моделирование осуществлено для десяти различных покрытий на твердосплавном субстрате марки BK8. В качестве базового инструментального материала использован твердый сплав BK8, остальные инструментальные материалы различались архитектурой (конструкцией, составом, структурой и методом распыления) покрытий, нанесенных на субстрат BK8. Разработана методика выбора наиболее рациональных инструментальных материалов. Данные, полученные имитационным моделированием, проверены экспериментально. Достигнуто хорошее совпадение результатов имитационного моделирования и экспериментального исследования.

**Ключевые слова:** износостойкость инструмента, повышение работоспособности, сменные режущие пластины

The issues of increasing tool durability in relation to the process of turning specialized hard-to-work corrosion-resistant stainless steels of grades 09X17H7Ю, 12X18H10T and 13X15H5 AM-3 with standard replaceable carbide plates are considered. To develop recommendations, a set of experimental and simulation studies was performed. Simulation was performed in the Deform software environment using the parameters "temperature", "stress", and "strain". The simulation results are compared with the operational parameters (the amount of wear of the tool material). Simulation modeling was performed for 10 different types of coatings on a hard-alloy substrate of the BK8 brand. The base tool material is a hard alloy of the BK8 grade, while the other tool materials differ in the architecture (design, composition, structure, and method of coating) of the coatings applied to the BK8 substrate.

A method for selecting the most rational tool materials has been developed. The results obtained by simulation were verified experimentally. A good match of results was achieved.

**Keywords:** tool wear resistance, improving the performance, replaceable cutting plates

Коррозионностойкие стали получили широкое распространение в судостроении, нефтегазовой, пищевой, химической и других отраслях промышленности, и потребность в них постоянно возрастает. Такие стали относятся к труднообрабатываемым.

Расход металлорежущего инструмента при обработке заготовок деталей, выполненных из таких сталей, значителен, поэтому его необходимо сократить. Кроме того, есть примеры, когда износостойкость металлорежущего инструмента недостаточна для обработки одной поверхности заготовки, а смена этого инструмента или его режущей кромки недопустима.

К коррозионностойким относятся и специализированная нержавеющая сталь 09X17H7Ю, разработанная в СССР в первой половине XX века. Существующие рекомендации по сокращению расхода инструмента нельзя использовать по ряду причин, в том числе из-за отсутствия станочного оборудования, для которого их разработали. Зарубежные инструментальные материалы неприменимы либо дают ошибочный результат.

Цель работы — выработка рекомендаций по сокращению расхода сменных режущих пластин (РП) с учетом современных условий и требований.

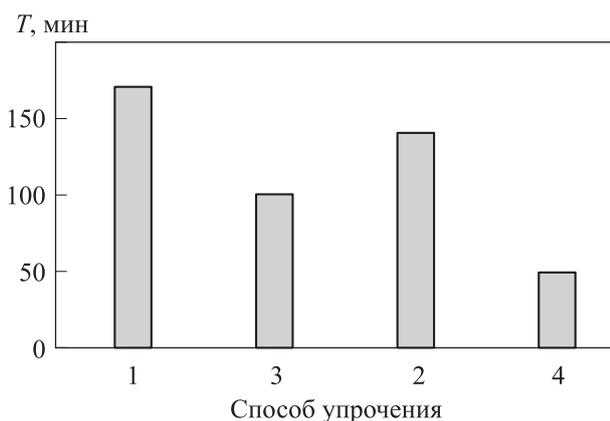


Рис. 1. Значения периода стойкости  $T$  РП из стали ВК8, упрочненных различными способами: 1 — термозаточкой с полированием; 2 и 3 — нанесением покрытия методом КИБ с фильтрацией капельной фазы при ассистировании ускоренными ионами с использованием инструментального материала ВК8 + Ti (до 1 мкм) + TiN (1 мкм) + (NbZrTiAl)N (2,5 мкм) и ВК8 + Ti (до 1 мкм) + TiN (1 мкм) + (TiAl)N (2 мкм) + TiN (0,5 мкм); 4 — без упрочнения

Далее приведены отдельные результаты по разработке таких рекомендаций. Более подробно эти результаты изложены в работах [1–4]. Для повышения работоспособности РП — их периода стойкости до износа 0,5 мм по задней грани (далее период стойкости) — исследована перспективность нанесения на РП покрытий как известных [5–10], так и специально разработанных для данных или предполагаемых условий эксплуатации.

Отдельные значения периода стойкости РП из стали ВК8, упрочненной различными способами, приведены на рис. 1. Там же для сравнения показан период стойкости такой пластины без упрочнения.

Пластину упрочняли двумя способами: термозаточкой с полированием и нанесением покрытий методом конденсации ионной бомбардировки (КИБ) с фильтрацией капельной фазы при ассистировании ускоренными ионами. При нанесении слоев покрытия использовали два инструментальных материала: ВК8 + Ti (до 1 мкм) + TiN (1 мкм) + (NbZrTiAl)N (2,5 мкм) и ВК8 + Ti (до 1 мкм) + TiN (1 мкм) + (TiAl)N (2 мкм) + TiN (0,5 мкм). Здесь и далее число в скобках соответствует толщине слоя покрытия в микрометрах.

Как видно из рис. 1, разработанные покрытия позволяют существенно (в 2 раза и более) повысить период стойкости РП.

Некоторые спрогнозированные имитационным моделированием значения периода стойкости четырехгранных РП из различных инструментальных материалов при токарной обработке специализированных труднообрабатываемых нержавеющих сталей 09X17H7Ю, 12X18H10T и 13X15H5AM3 приведены на рис. 2. Там же для примера указаны значения  $T$  для пятигранной РП.

Анализ данных, приведенных на рис. 2, позволяет заключить следующее:

- минимальный период стойкости имеет четырехгранная РП из твердого сплава ВК8 при точении стали 09X17H7Ю, максимальный — при обработке стали 13X15H5AM3; различие максимального и минимального значений  $T$  четырехгранной РП составило 75 мин;
- при точении стали 12X18H10T четырехгранной РП период ее стойкости в 2 раза

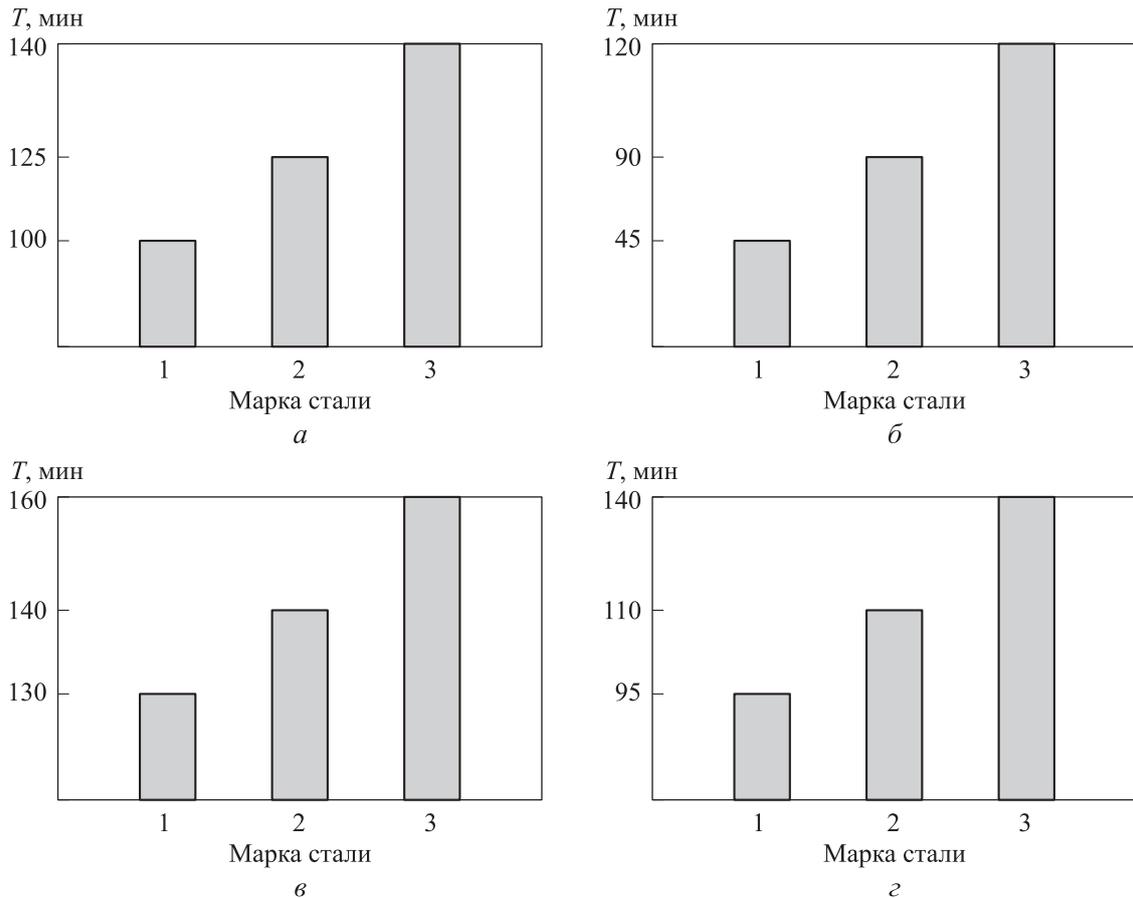


Рис. 2. Значения периода стойкости  $T$  пяти- (а) и четырехгранных (б-г) РП из различных инструментальных материалов при токарной обработке сталей 09Х17Н7Ю (1), 12Х18Н10Т (2) и 13Х15Н5АМ3 (3):  
 а и б — сплав ВК8; в — ВК8 + TiCN (5 мкм) + (TiAl)N (3 мкм) + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (5 мкм) + TiC (5 мкм);  
 г — ВК8 + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (2 мкм) + (Ti)CN (5 мкм) + (TiAl)N (3 мкм) + TiN (3 мкм)

больше, чем при обработке стали 09Х17Н7Ю, и в 2,6 раза меньше, чем при точении стали 13Х15Н5АМ3;

- применение покрытий существенно повысило период стойкости четырехгранной РП;

его прирост зависит от используемого покрытия;

- при обработке стали 12Х18Н10Т пятигранной РП период ее стойкости в 1,25 раза больше, чем при точении стали 09Х17Н7Ю, и в 1,4 раза



а



б

Рис. 3. Внешний вид токарного станда для продольного точения заготовки при замене его резцедержателя токарным динамометром STD201-2 (а) и отображаемые на экране монитора результаты измерения составляющих силы резания (б)

**Значения составляющих силы резания  
при точении различных материалов**

Материал	Составляющие силы резания, Н		
	$F_x$	$F_y$	$F_z$
09X17H7Ю	85,5	305,2	362,5
12X18H10T	64,7	308,0	284,6
13X15НАМЗ	35,2	310,1	191,4
BT22	199,4	572,0	578,2

меньше, чем при обработке стали 13X15H5AM3; при точении стали 09X17H7Ю максимальное значение периода стойкости пятигранной РП отличается от минимального на 45 мин.

Экспериментальную проверку результатов имитационного моделирования выполняли на токарном станде с использованием токарного динамометра STD201-2 (рис. 3).

Результаты измерения продольной  $F_x$ , радиальной  $F_y$  и вертикальной  $F_z$  составляющих силы резания при точении сталей 09X17H7Ю, 12X18H10T и 13X15НАМЗ приведены в таблице. Там же для сравнения указаны значения этих составляющих при точении титанового сплава BT22.

В результате исследования доказана целесообразность применения для точения указанных сталей следующих инструментальных материалов:

- BK8 + TiCN (5 мкм) + (TiAl)N (3 мкм) +  $Al_2O_3$  (5 мкм) + TiC (5 мкм);
- BK8 +  $Al_2O_3$  (2 мкм) + (Ti)CN (5 мкм) + (TiAl)N (3 мкм) + TiN (3 мкм);
- BK8 + (TiAl)N (3 мкм) +  $Al_2O_3$  (3 мкм) + (TiAl)N (3 мкм) +  $Al_2O_3$  (3 мкм);

- BK8 + TiN (3 мкм) + TiC (3 мкм) + TiN (3 мкм) + TiC (3 мкм);
- BK8 + TiC (3 мкм) + TiN (3 мкм) + (TiAl)N (2 мкм);
- BK8 + TiCN (2 мкм) + TiC (3 мкм) + TiN (1,5 мкм);
- BK8 + TiC (1,5 мкм) + TiN (3 мкм);
- BK8 + TiN (2 мкм) + TiC (5 мкм);
- BK8 + TiCN (0,5 мкм) + TiN (1 мкм);
- BK8 + TiN (0,5 мкм) + TiC (1 мкм).

Полученные результаты хорошо согласуются с данными работ [4, 5], посвященных разработке покрытий. Обоснование причин и доли повышения работоспособности РП с такими покрытиями дано в работе [15].

## Выводы

1. Применение РП из сплава BK8 не решает проблему обеспечения периода стойкости инструмента на уровне, необходимом для высокопроизводительной обработки сталей 09X17H7Ю, 12X18H10T и 13X15НАМЗ, т. е. ресурса РП недостаточно.

2. Нанесение на РП покрытий существенно (в 2 раза и более) повышает период ее стойкости. Наиболее предпочтительным для токарной обработки заготовки оказался инструментальный материал BK8 + TiN (3 мкм) + TiC (3 мкм) + TiN (3 мкм) + TiC (3 мкм) и BK8 + TiC (3 мкм) + TiN (2 мкм) + (ZrTi)N (3 мкм).

3. Полученные результаты указывают на возможность высокопроизводительной обработки рассмотренных труднообрабатываемых нержавеющей сталей.

## Литература

- [1] 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: <http://dx.doi.org/10.21285/1814-3520-2019-2-246-251>
- [2] Ситамов Э.С., Мокрицкий Б.Я., Шакирова О.Г. Оценка износостойкости твердосплавного инструмента при обработке нержавеющей стали. *Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета*, 2019, № 3–1(39), с. 109–112.
- [3] Ситамов Э.С., Мокрицкий Б.Я. Результаты сравнительного исследования износостойкости твердосплавного инструмента при обработке нержавеющей стали. *Металлообработка*, 2018, № 4(106), с. 7–13.
- [4] Мокрицкий Б.Я., Ситамов Э.С., Мокрицкая Е.Б. Сравнительное исследование работоспособности твердосплавного режущего инструмента при обработке заготовок деталей, выполненных из нержавеющей стали. *Проблемы машиностроения и автоматизации*, 2018, № 4, с. 76–79.

- [5] Верещака А.С., Дачаева А.В., Анিকেев А.И. Повышение работоспособности режущего инструмента при обработке труднообрабатываемых материалов путем комплексного применения наноструктурированного износостойкого покрытия и твердого сплава оптимального состава. *Известия МГТУ «МАМИ»*, 2010, № 1(9), с. 99–106.
- [6] Григорьев С.Н. *Методы повышения стойкости режущего инструмента*. Москва, Машиностроение, 2011. 368 с.
- [7] Евдокимов Д.Е., Скуратов Д.Л., Федоров Д.Г. Влияние износа режущего инструмента на плотность распределения тепловых потоков при концевом фрезеровании титанового сплава ОТ4. *СТИН*, 2015, № 9, с. 26–30.
- [8] Елкин М.С. *Исследование влияния износостойких покрытий режущего инструмента на параметры качества обработанной поверхности при фрезеровании концевыми фрезами лопаток и моноколес*. Дис. ... канд. техн. наук. Рыбинск, 2015. 205 с.
- [9] Курочкин А.В. *Повышение работоспособности монолитных твердосплавных концевых фрез путем оптимизации архитектуры многослойных наноструктурированных износостойких покрытий*. Автореф. дис. канд. техн. наук. Рыбинск, 2012. 16 с.
- [10] Табаков В.П., Чихранов А.В. Повышение работоспособности твердосплавного инструмента путем направленного выбора рациональных параметров состава износостойкого покрытия. *СТИН*, 2016, № 3, с. 14–18.
- [11] 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.
- [12] Colding B. War characteristics of coated carbide. *International Cutting Tool Bay Sandviken*, Lecture, 11980, no. 5, pp. 1–15.
- [13] Dzieyk B. Fortschritte in der Zerspanungstechnik durch mehrlagige Hrtmetallbeschichtung Advances in machining technology through multi-layer Hrtmetallbeschichtung. *Technisches Zentralblatt für praktische Metallbeschichtung Technical Central sheet for practical metal coating*, 1994, vol. 68, № 6, 2, 4, ss. 199–202.
- [14] Horlin H.A. TiC coated cemented carbides — their introduction and impact on metal cutting. *Product Engineering*, 1971, vol. 50, no. 4, no. 5, pp. 153–159.
- [15] Мокрицкий Б.Я., Ситамов Э.С. *Концептуальные проблемы разработки и упрочнения лезвийного металлорежущего инструмента*. Москва, РУСАЙНС, 2020. 166 с.

## References

- [1] Mokritskiy B.Ya., Sitamov E.S., Serebrennikova A.G. Povysheniye rabotosposobnosti tverdospavnogo rezhushchego instrumenta za schet naneseniya pokrytiy Improving carbide cutting tool performance through coating. *Proceedings of ISTU*, 2019, vol. 23, no. 2, pp. 246–251 (in Russ.), doi: <http://dx.doi.org/10.21285/1814-3520-2019-2-246-251>
- [2] Sitamov E.S., Mokritskiy B.Ya., Shakirova O.G. Estimation of wear-resistance of the meldomed tools while processing stainless steel. *Uchenyye zapiski Komsomol'skogo-na-Amure gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2019, no. 3–1(39), pp. 109–112 (in Russ.).
- [3] Sitamov E.S., Mokritskiy B.Ya. Results of comparative investigation of wear-resistance of meldomed tools for stainless steel processing. *Metalloobrabotka*, 2018, no. 4(106), pp. 7–13 (in Russ.).
- [4] Mokritskiy B.Ya., Sitamov E.S., Mokritskaya E.B. A comparative study of the efficiency of carbide cutting tool when machining parts made of stainless steel. *Problemy mashinostroyeniya i avtomatizatsii*, 2018, no. 4, pp. 76–79 (in Russ.).
- [5] Vereshchaka A.S., Dacheva A.V., Anikeev A.I. Working capacity enhancement of cutting tools in terms of machining of difficult-to-cut materials by complex application of wear-resistant coating and hard alloy. *Izvestiya MGTU «МАМИ»*, 2010, no. 1(9), pp. 99–106 (in Russ.).
- [6] Grigor'yev S.N. *Metody povysheniya stoykosti rezhushchego instrumenta* [Methods for improving the durability of cutting tools]. Moscow, Mashinostroyeniye publ., 2011. 368 p.
- [7] Evdokimov D.E., Skuratov D.L., Fedorov D.G. Effect of cutting tool wear on the heat flux distribution density during end milling of titanium alloy ОТ4. *СТИН*, 2015, no. 9, pp. 26–30 (in Russ.).

- [8] Elkin M.S. *Issledovaniye vliyaniya iznosostoykikh pokrytiy rezhushchego instrumenta na parametry kachestva obrabotannoy poverkhnosti pri frezerovanii kontsevyimi frezami lopatok i monokoles*. Kand. Diss. [Investigation of the influence of wear-resistant coatings of cutting tools on the quality parameters of the treated surface when milling blades and monowheels with end mills. Cand. Diss.]. Rybinsk, 2015. 205 p.
- [9] Kurochkin A.V. *Povysheniye rabotosposobnosti monolitnykh tverdospлавnykh kontsevykh frez putem optimizatsii arkhitektury mnogosloynnykh nanostrukturirovannykh iznosostoykikh pokrytiy*. Avtoref. Kand. Diss. [Improving the performance of monolithic carbide end mills by optimizing the architecture of multi-layer nanostructured wear-resistant coatings. Abstract Cand. Diss.]. Rybinsk, 2012. 16 p.
- [10] Tabakov V.P., Chikhranov A.V. Improving the performance of hard-alloy tools by selecting rational parameters of the wear-resistant coating composition. *STIN*, 2016, no. 3, pp. 14–18 (in Russ.).
- [11] Tabakov V.P., Smirnov M.Yu., Tsirkin A.V., Chikhranov A.V. The mathematical description of cracking processes in wearproof coatings of the cutting tool. *Uprochnyayushchiye tekhnologii i pokrytiya*, 2007, no. 6, pp. 48–51 (in Russ.).
- [12] Colding B. Wear characteristics of coated carbide. *International Cutting Tool Bay Sandviken*, Lecture, 11980, no. 5, pp. 1–15.
- [13] Dzieyk B. Advances in machining technology through multi-layer Hrtmetallbeschichtung. *Technical Central sheet for practical metal coating*, 1994, vol. 68, no. 6, 2, 4, pp. 199–202.
- [14] Horlin H.A. TiC coated cemented carbides — their introduction and impact on metal cutting. *Product Engineering*, 1971, vol. 50, no. 4, no. 5, pp. 153–159.
- [15] Mokritskiy B.Ya., Sitamov E.S. *Kontseptual'nyye problemy razrabotki i uprochneniya lezviynogo metallorazhushchego instrumenta* [Conceptual problems of development and strengthening of blade cutting tools]. Moscow, RUSAYNS publ., 2020. 166 p.

Статья поступила в редакцию 10.10.2020

## Информация об авторах

**МОКРИЦКИЙ Борис Яковлевич** — доктор технических наук, профессор кафедры «Машиностроение». Комсомольский-на-Амуре государственный университет (681013, Комсомольск-на-Амуре, Российская Федерация, ул. Ленина, д. 27, e-mail: boris@knastu.ru).

**СИТАМОВ Эрадж Сикандарович** — аспирант кафедры «Машиностроение». Комсомольский-на-Амуре государственный университет (681013, Комсомольск-на-Амуре, Российская Федерация, ул. Ленина, д. 27, e-mail: Eraj\_2303@mail.ru).

## Information about the authors

**MOKRITSKIY Boris Yakovlevich** — Doctor of Science (Eng.), Professor, Department of Mechanical Engineering. Komsomolsk-na-Amure State University (681013, Komsomolsk-on-Amur, Russian Federation, Lenin St., Bldg. 27, e-mail: boris@knastu.ru).

**SITAMOV Eraj Sikandarovich** — Postgraduate, Department of Mechanical Engineering. Komsomolsk-na-Amure State University (681013, Komsomolsk-on-Amur, Russian Federation, Lenin St., Bldg. 27, e-mail: Eraj\_2303@mail.ru).

### Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:

Мокрицкий Б.Я., Ситамов Э.С. Инструментальные материалы для токарной обработки специализированных нержавеющей сталей. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*, 2021, № 2, с. 3–8, doi: 10.18698/0536-1044-2021-2-3-8

### Please cite this article in English as:

Mokritskiy B.Y., Sitamov E.S. Tool Materials for Turning Specialized Corrosion-Resistant Stainless Steels. *BMSTU Journal of Mechanical Engineering*, 2021, no. 2, pp. 3–8, doi: 10.18698/0536-1044-2021-2-3-8