

УДК 621.9-05

doi: 10.18698/0536-1044-2021-1-27-33

Инструментальные материалы для токарной обработки машиностроительной нержавеющей стали 09X17H7Ю

Б.Я. Мокрицкий, Э.С. Ситамов

Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Tool Materials for Turning Machine-Building Stainless Steel 09Kh17N7Yu

B.Y. Mokritskiy, E.S. Sitamov

Komsomolsk-na-Amure State University

Благодаря уникальным эксплуатационным свойствам труднообрабатываемая специализированная нержавеющая сталь 09X17H7Ю нашла широкое применение в различных областях машиностроения. Существующие рекомендации по ее обработке устарели и не соответствуют современным требованиям, предъявляемым к металлорежущему инструменту. В связи с этим возникла задача разработать рекомендации применительно к современному высокопроизводительному станочному оборудованию. Даны примеры разработки новых инструментов для токарной обработки стали 09X17H7Ю. Для сравнения показаны результаты периода стойкости при обработке других труднообрабатываемых сталей. Получены зависимости износа инструмента от времени работы. Приведены результаты проектирования инструментальных материалов под заданные условия эксплуатации. Для разработки новых инструментов применено имитационное моделирование в программной среде Deform. Это позволило разработать новые покрытия для твердого сплава ВК8, обеспечивающие существенное (до 3 раз) повышение периода стойкости инструмента.

Ключевые слова: износ инструмента, инструментальные материалы, режим резания

Hard-to-process specialized stainless steel grade 09Kh17N7Yu has become widely used in various fields of mechanical engineering due to its unique performance properties. The existing recommendations for its processing are outdated and do not meet modern requirements for the performance of metal-cutting tools. This necessitated the need to develop recommendations for modern high-performance machine tools. The paper presents methods of solving this problem based on the example of turning by typical domestic replaceable hard-alloyed cutting plates. Relationships between the tool wear and the operating time were obtained. Design solutions for tool materials to be used under specified operating conditions were developed. A significant outcome of the paper was the use of simulation modeling in the Deform software environment, which allowed the authors to develop new coatings for the hard alloy VK8, which provided a significant (up to 3 times) increase in tool life. Using modelling, it was also possible to design new tool materials for new or expected operating conditions. The following main criteria sufficient for modeling were identified: tool wear, temperature in the cutting zone, stresses in the tool material and deformation of the tool material. The results obtained can be used as the basis for the so-called data bank, which can be used in production enterprises.

Keywords: tool wear, instrumental materials, cutting mode

Коррозионно-стойкие 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 коррозионно-стойких сталей, значителен. Необходимо его сократить. Кроме того, есть примеры, когда износостойкость металлорежущего инструмента недостаточна для обработки одной поверхности заготовки, а смена этого инструмента или режущей кромки недопустима.

Одним из примеров коррозионно-стойких сталей является специализированная сталь 09X17H7Ю. Она разработана в СССР в первой половине XX века и не имеет прямых аналогов за рубежом. Существующие рекомендации не могут быть использованы по ряду причин, в том числе из-за отсутствия станочного оборудования, для которого они были разработаны. Зарубежные инструментальные материалы неприменимы либо дают ошибочный результат.

Наибольшее влияние на обрабатываемость стали 09X17H7Ю оказывают ее физико-механические характеристики: предел прочности — 830 МПа; предел текучести — 735 МПа; относительное удлинение при разрыве — 12 %; ударная вязкость КСУ — 490 кДж/м².

Эти характеристики во многом определяют химическим составом стали 09X17H7Ю, %:

C — до 0,09; Si — до 0,8; Mn — до 0,08; Ni — 7...8; S — до 0,02; P — до 0,03; Cr — 16,0...17,5.

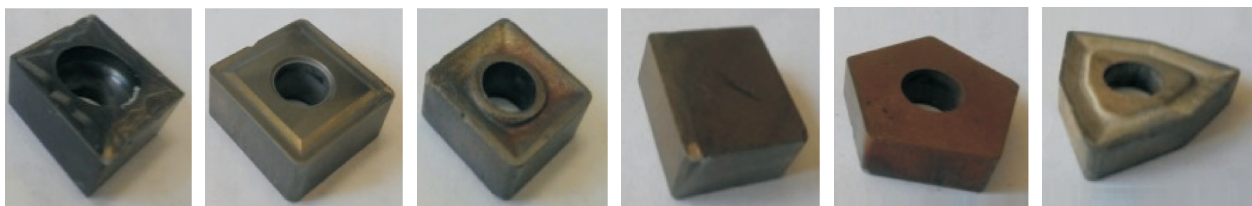
Для сравнения отметим, что сталь 12X18H10T, как и исследуемая марка, является коррозионно-стойкой и труднообрабатываемой. Ее применяют в деталях, которые работают при температуре до 600 °С в условиях разбавленных кислот, среднеагрессивных щелочных и солевых растворов, например, в резервуарах и сварных агрегатах.

Цель работы — разработка рекомендаций по сокращению расхода инструмента применительно к современным условиям и требованиям.

Далее приведены отдельные результаты по разработке таких рекомендаций. Более подробно эти результаты изложены в работах [1–4]. Экспериментально выявлены зависимости износа режущих пластин (РП) от времени работы. Полученные зависимости описаны формулами, наличие которых обеспечило возможность прогнозировать период работы РП на заданном отрезке времени его эксплуатации. Это позволяет обосновано приобретать требуемое количество режущего инструмента.

Подобные формулы получены для пятнадцати различных отечественных типовых сменных токарных пластин, выполненных из твердого сплава групп ВК, ТК и ТТК. Примеры РП и их расположения в токарном проходном резце приведены на рис. 1, а и б соответственно.

В целях повышения работоспособности (ресурса) РП исследована перспективность



а



б

Рис. 1. Примеры РП (а) и их расположения в токарном проходном резце (б)

нанесения на них покрытий — известных [5–10] и специально разработанных для данных или предполагаемых условий эксплуатации.

Отдельные результаты исследования работоспособности пластин (периода стойкости РП до износа по задней грани $h_3 = 0,5$ мм), выполненных из труднообрабатываемых нержавеющей коррозионно-стойких сталей 09Х17Н7Ю, 12Х18Н10Т и 13Х15Н5АМ3, при нанесении на них покрытий из трех инструментальных материалов приведены на рис. 2.

Первым инструментальным материалом являлся типовой отечественный сплав ВК8, вторым — ВК8 + Ti (до 1 мкм) + TiN (1 мкм) + (NbZrTiAl)N (2,5 мкм), третьим — 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. Слои второго и третьего инструмен-

тальных материалов наносили на пластину методом конденсации ионной бомбардировкой с фильтрацией капельной фазы при ассистировании ускоренными ионами.

Как видно из рис. 2, период стойкости РП из инструментального материала ВК8 при обработке стали 09Х17Н7Ю составил лишь 45 мин. Этого недостаточно для современных станков с ЧПУ. При нанесении покрытий стойкость РП возросла в разы. Аналогичные заключения можно сделать и для сталей 12Х18Н10Т и 13Х15Н5АМ3.

По результатам экспериментальных исследований (натурных опытов, выполненных на токарном станке модели 16К25) построены графические зависимости износа РП по задней поверхности h_3 от времени ее работы для различных параметров режима резания, обрабатываемых материалов и РП.

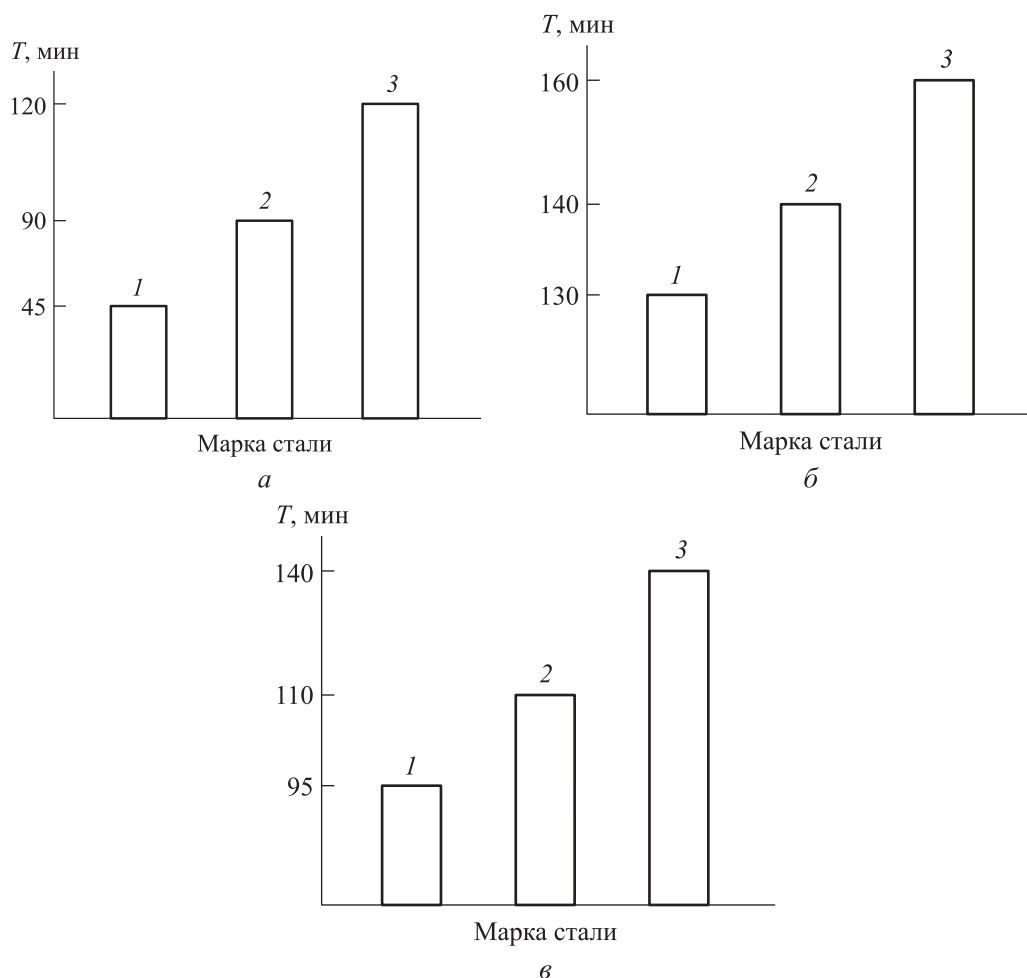


Рис. 2. Значения периода стойкости T пластин, выполненных из сталей 09Х17Н7Ю (1), 12Х18Н10Т (2) и 13Х15Н5АМ3 (3), при нанесении на них покрытий из разных инструментальных материалов:

а — ВК8; б — ВК8 + Ti (до 1 мкм) + TiN (1 мкм) + (NbZrTiAl)N (2,5 мкм);
 в — сплав ВК8 + Ti (до 1 мкм) + TiN (1 мкм) + (TiAl)N (2 мкм) + TiN (0,5 мкм)

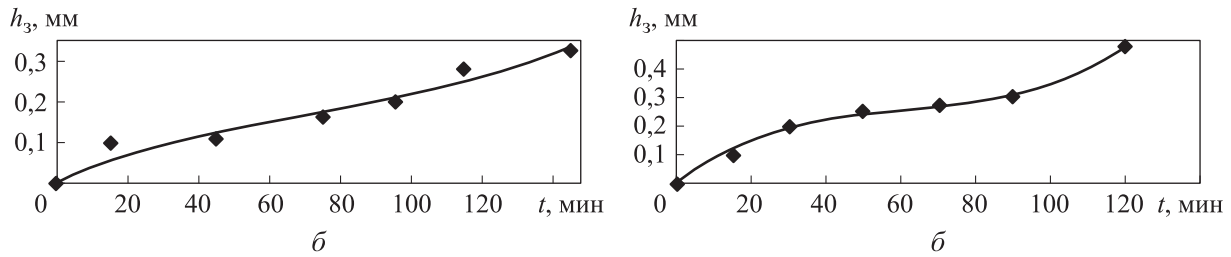


Рис. 3. Экспериментальные (◆) и аппроксимирующие (—) зависимости износа РП по задней поверхности h_3 от времени ее работы t при нанесении на РП покрытий из разных инструментальных материалов:

a — ТТ14К8Б + Ti (1 мкм) + (NbZrTiAl)N (2,5 мкм);

b — BK8 + Ti (1 мкм) + TiN (1 мкм) + (TiAl)N (2 мкм) + TiN (0,5 мкм)

В качестве примера на рис. 3 приведены результаты для следующих условий эксплуатации РП: скорость резания — 55...50 м/мин; частота вращения заготовки — 160 мин⁻¹; продольная подача — 0,21 мм/об; глубина резания — 1 мм; обрабатываемый материал — сталь 09Х17Н7Ю. Лучшим инструментальным материалом являлся — сплав ТТ14К8Б + Ti (1 мкм) + (NbZrTiAl)N (2,5 мкм), вторым — сплав BK8 + Ti (1 мкм) + TiN (1 мкм) + (TiAl)N (2 мкм) + TiN (0,5 мкм).

Полученные результаты согласуются с данными, приведенными в работах [11–17].

Разработано более тридцати новых РП, обеспечивающих повышение периода стойкости по сравнению с таковым для РП с покрытием BK8 при обработке стали 09Х17Н7Ю. У стали 12Х18Н10Т период стойкости увеличился больше, чем у 09Х17Н7Ю, так как ее проще обрабатывать. У стали 13Х15Н5АМ3 повышение периода стойкости оказалось еще значительнее.

Из тридцати новых РП отобрано десять, различающихся покрытиями. По убыванию периода стойкости рабочего инструмента покрытия расположены в следующей последовательности: BK8 + TiCN (5 мкм) + (TiAl)N (3 мкм) + Al₂O₃ (5 мкм) + TiC (5 мкм), BK8 + Al₂O₃ (2 мкм) + (Ti)CN (5 мкм) + (TiAl)N (3 мкм) + TiN (3 мкм), BK8 + (TiAl)N (3 мкм) + Al₂O₃ (3 мкм) + (TiAl)N (3 мкм) + Al₂O₃ (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).

Эта последовательность получена для предпочтительных параметров режима обработки:

скорость резания — 50 м/мин, подача — 0,21 мм/об, глубина резания — 1,0...1,5 мм. При изменении параметров становится другой и последовательность расположения РП.

Например, для форсированного режима обработки (скорость резания — 60 м/мин, глубина резания — 2 мм, подача — 0,21 мм/об) стали 09Х17Н7Ю наиболее рациональными и конкурирующими оказались РП с покрытиями 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).

Выводы

1. Применение инструмента марки BK8 не решает проблему обеспечения периода стойкости РП на уровне, необходимом для высокопроизводительной обработки, т. е. его ресурса недостаточно.

2. Использование покрытий существенно (в 2 раза и более) повышает период стойкости рабочего инструмента. Каждое из покрытий обеспечивает свой прирост периода стойкости. Наиболее рационально оказалось применение многослойных покрытий.

3. Для форсированного режима обработки наиболее рациональными и конкурирующими между собой оказались РП с покрытиями 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).

4. Необходимо расширить область исследования при других условиях эксплуатации РП, т. е. создать банк с рекомендациями. Полученные результаты могут быть положены в основу такого банка.

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] Васильев Е.В., Попов А.Ю., Бугай И.А., Назаров П.В. Специальный осевой режущий инструмент для обработки композиционных материалов. *СТИН*, 2015, № 4, с. 9–11.
- [6] Верещагин В.Ю., Мокрицкий Б.Я., Верещагина А.С. Анализ результатов испытаний составных концевых фрез. *Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета*, 2016, № 3(27), с. 53–56.
- [7] 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.
- [8] Григорьев С.Н. *Методы повышения стойкости режущего инструмента*. Москва, Машиностроение, 2011. 368 с.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] Табаков В.П., Чихранов А.В. Повышение работоспособности твердосплавного инструмента путем направленного выбора рациональных параметров состава износостойкого покрытия. *СТИН*, 2016, № 3, с. 14–18.
- [13] 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.
- [14] Grigoriev S., Melnik Y., Metel A. Broad fast neutral molecule beam sources for industrial-scale beam-assisted deposition. *Surface and Coatings Technology*, 2002, vol. 156(1–3), pp. 44–49, doi: [10.1016/S0257-8972\(02\)00071-3](https://doi.org/10.1016/S0257-8972(02)00071-3)
- [15] 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.
- [16] 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.
- [17] Odinokov V.I., Dmitriev E.A., Evstigneev A.I. Simulation of molten metal pouring into the continuous casting machine mold. *Materials today-proceedings*, 2019, vol. 19, pp. 2274–2277, doi: [10.1016/j.matpr.2019.07.596](https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.07.596)

References

- [1] Mokritskiy B.Ya., Sitamov E.S., Serebrennikova A.G. Povysheniye rabotosposobnosti tverdospalnogo 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 mel-domed 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] Vasil'yev E.V., Popov A.Yu., Bugay I.A., Nazarov P.V. Special axial cutting tool for processing composite materials. *STIN*, 2015, no. 4, pp. 9–11 (in Russ.).
- [6] Vereshchagin V.Yu., Mokritskiy B.Ya., Vereshchagina A.S. Composite shank cutter test results evaluation. *Uchenyye zapiski Komsomol'skogo-na-Amure gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2016, no. 3(27), pp. 53–56 (in Russ.).
- [7] Vereshchaka A.S., Dachayeva A.V., Anikeyev 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 "MAM"*, 2010, no. 1(9), pp. 99–106 (in Russ.).
- [8] Grigor'yev S.N. *Metody povysheniya stoykosti rezhushchego instrumenta* [Methods for improving the durability of cutting tools]. Moscow, Mashinostroyeniye publ., 2011. 368 p.
- [9] 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 OT4. *STIN*, 2015, no. 9, pp. 26–30 (in Russ.).
- [10] Elkin M.S. *Issledovaniye vliyaniya iznosostoykikh pokrytiy rezhushchego instrumenta na parametry kachestva obrabotannoy poverkhnosti pri freezerovanii kontsevymi 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.
- [11] Kurochkin A.V. *Povysheniye rabotosposobnosti monolitnykh tverdospalvnykh kontsevnykh 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.
- [12] 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.).
- [13] 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.).
- [14] Grigoriev S., Melnik Y., Metel A. Broad fast neutral molecule beam sources for industrial-scale beam-assisted deposition. *Surface and Coatings Technology*, 2002, vol. 156(1–3), pp. 44–49, doi: [10.1016/S0257-8972\(02\)00071-3](https://doi.org/10.1016/S0257-8972(02)00071-3)
- [15] 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.
- [16] 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.
- [17] Odinkov V.I., Dmitriev E.A., Evstigneev A.I. Simulation of molten metal pouring into the continuous casting machine mold. *Materials today-proceedings*, 2019, vol. 19, pp. 2274–2277, doi: [10.1016/j.matpr.2019.07.596](https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.07.596)

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 машиностроительной нержавеющей стали 09Х17Н7Ю. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*, 2021, № 1, с. 27–33, doi: 10.18698/0536-1044-2021-1-27-33

Please cite this article in English as:

Mokritskiy B.Y., Sitamov E.S. Tool Materials for Turning Machine-Building Stainless Steel 09Kh17N7Yu. *BMSTU Journal of Mechanical Engineering*, 2021, no. 1, pp. 27–33, doi: 10.18698/0536-1044-2021-1-27-33



В Издательстве МГТУ им. Н.Э. Баумана вышла в свет монография М.В. Ермолаевой, М.О. Орлова

«Типологический подход к проблеме ведения переговоров»

Описаны технологии, стили и тактики переговоров с позиции типологического подхода, позволяющего участникам переговорного процесса успешно ориентироваться в многочисленных предлагаемых советах и рекомендациях, делать безошибочный выбор, основанный на правильной оценке индивидуальности оппонента, избегать возможных ошибок и добиваться успеха, не используя рискованных приемов. Изложены современные представления о психологических качествах эффективного переговорщика с позиции типологического подхода. Представлены поведенческие маркеры типов участников переговоров, что облегчает прогнозирование успешности переговорного процесса. Книга отличается от многочисленных публикаций, посвященных проблеме переговоров, ориентированностью на практику так как содержит много примеров, иллюстрирующих эффективные способы поведения в сложных и неожиданных ситуациях.

Для начинающих специалистов, менеджеров среднего звена, HR-менеджеров, руководства. Может также представлять интерес для бакалавров и магистров, изучающих проблемы бизнес-коммуникаций, ведения переговоров и защиты интересов, современные технологии делового общения в бизнесе.

Издается в авторской редакции.

По вопросам приобретения обращайтесь:

105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1.
Тел.: +7 499 263-60-45, факс: +7 499 261-45-97;
press@bmstu.ru; www.baumanpress.ru