

Машиностроение Mechanical engineering

Научная статья

Статья в открытом доступе

УДК 621.9

doi: 10.30987/2782-5957-2024-5-4-9

ОБРАБОТКА ТОРЦОВ ЗАГОТОВОК ДЕТАЛЕЙ

Борис Яковлевич Мокрицкий^{1✉}, Владимир Владимирович Григорьев², Александр Александрович Скрипилёв³, Сергей Борисович Марьин⁴

^{1,2,3,4} Комсомольский-на-Амуре государственный университет, Комсомольск-на-Амуре, Россия

¹ boris@knastu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4727-9873>

² grigorev.vlv@gmail.com

³ Skripilev.aal@email.knastu.ru

⁴ maryinsb@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1331-2022>

Аннотация

Цель исследования: повышение эффективности токарной обработки коррозионностойкой нержавеющей труднообрабатываемой стали 12X18H10T.

Задача: снижение инструментальных затрат.

Методы исследования: натурное экспериментирование и имитационное моделирование в программной среде *deform*.

Новизна работы: сформирован новый подход к повышению периода стойкости металлоре-

жущего инструмента для точения торцов заготовок деталей. Это позволило выявить наиболее рациональные покрытия для разных условий его эксплуатации.

Результаты исследования: разработаны рекомендации по выбору рационального покрытия на инструментальный твёрдый сплав марки ВК8.

Ключевые слова: точение, торцы, заготовки, детали, покрытия, сплав ВК8, сравнение, периоды, стойкость, инструмент.

Финансирование: Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-29-00393, <https://rscf.ru/project/23-29-00393/>.

Ссылка для цитирования:

Мокрицкий Б.Я. Обработка торцов заготовок деталей / Б. Я. Мокрицкий, В. В. Григорьев, А. А. Скрипилёв, С. Б. Марьин // Транспортное машиностроение. – 2024. – № 5. – С. 4-9. doi: 10.30987/2782-5957-2024-5-4-9.

Original article

Open Access Article

MACHINING THE ENDS OF PART WORKPIECES

Boris Yakovlevich Mokritskiy^{1✉}, Vladimir Vladimirovich Grigoryev², Aleksandr Aleksandrovich Skripilyov³, Sergey Borisovich Maryin⁴

^{1,2,3,4} Komsomolsk-on-Amur State University, Komsomolsk-on-Amur, Russia

¹ boris@knastu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4727-9873>

² grigorev.vlv@gmail.com

³ Skripilev.aal@email.knastu.ru

⁴ maryinsb@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1331-2022>

Abstract

The study objective is to increase turn process efficiency of corrosion-resistant stainless hard-to-machine steel 12X18H10T.

The task is to reduce tool costs.

Research methods are the following: full-field testing and simulation in *deform* software environment.

The novelty of the work: a new approach is formed to increase the durability of a metal-cutting tool for turning the ends of workpieces. This made it possi-

ble to find out the most rational coatings for different operating conditions.

Research results: recommendations are developed to choose a rational coating for hard alloy of BK 8 grade.

Funding: This paper is funded by a grant from the Russian Science Fund No. 23-29-00393, <https://rscf.ru/project/23-29-00393/>.

Reference for citing:

Mokritsky BYa, Grigoryev VV, Skripiyov AA, Maryin SB. Machining the ends of part workpieces. Transport Engineering. 2024;5:4-9. doi: 10.30987/2782-5957-2024-5-4-9.

Введение

В ряде отраслей отечественного и зарубежного машиностроения сложилось так, что затраты на изготовление инструмента в структуре себестоимости изготавливаемых изделий превышают 10 %, что резко снижает эффективность производства. Соответственно, требуются меры по снижению затрат.

Вопросы точения нержавеющей коррозионностойкой труднообрабатываемой стали марки 12X18H10T частично рассмотрены [1-4] для случая наружной обра-

Keywords: turning, ends, workpieces, parts, coatings, BK 8 alloy, comparison, periods, durability, tool.

ботки цилиндрических заготовок деталей. В указанных публикациях показаны наиболее рациональные многослойные наноструктурированные покрытия на инструментальном отечественном твёрдом сплаве марки BK8.

Целью работы является обеспечение эффективности токарной обработки торцов заготовок деталей, выполненных из стали марки 12X18H10T за счёт применения покрытий на инструментальном отечественном твёрдом сплаве марки BK8.

Материалы, модели, эксперименты и методы

Обрабатываемый материал – коррозионностойкая нержавеющая труднообрабатываемая сталь марки 12X18H10T. Режущий инструмент – токарный резец, на твёрдосплавную основу BK8 которого нанесены методом конденсации с ионной бомбардировкой та или иные многослойные наноструктурированные покрытия.

Натурные эксперименты выполнены при разных направлениях перемещения токарного резца. Предварительное проектирование покрытий для сменных типовых режущих пластин выполнено имитационным моделированием в программной среде *deform*.

Результаты

Рассмотрено несколько вариантов точения торцов заготовок деталей, рис. 1, 2, 3 и 4.

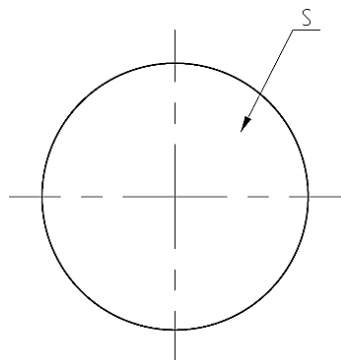


Рис. 1. Вид на торец заготовки детали, имеющей площадь S

Fig. 1. View of the end of a workpiece with an area S

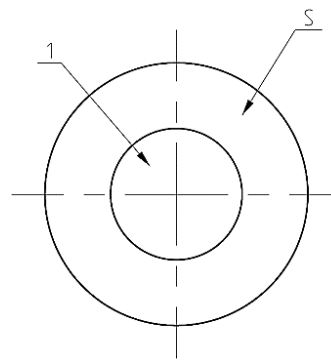


Рис. 2. Вид на торец заготовки детали, имеющей отверстие

Fig. 2. View of the end of a workpiece with a hole

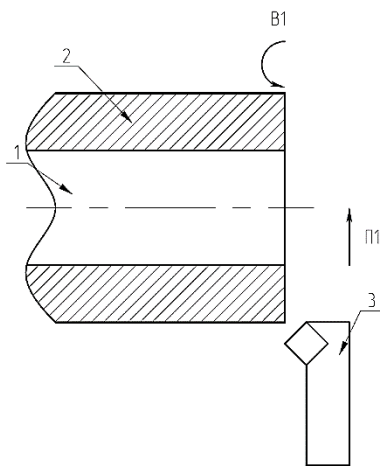


Рис. 3. Схема точения торца заготовки при перемещении резца снаружи к оси заготовки
 Fig. 3. Scheme of turning the end of a workpiece when moving the cutter from the outside to the axis of the workpiece

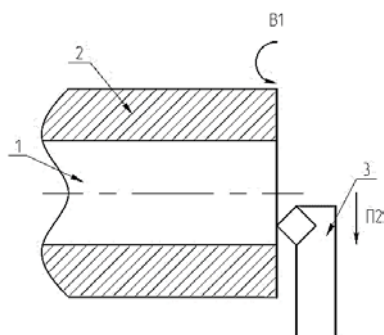


Рис. 4. Схема точения торца заготовки при перемещении резца от оси вращения заготовки наружу
 Fig. 4. Scheme of turning the end of a workpiece when moving the cutter from the axis of rotation of the workpiece

Для упрощения рассмотрен случай, когда площадь S обработки постоянна, рисунок 1 и 2. На рисунке 3 показана общепринятая схема обработки, когда перемещение резца направлено снаружи в ось вращения заготовки. На рисунке 4 рассмотрен случай перемещения резца от оси вращения заготовки наружу. Принято, что материал заготовки и режимы резания одинаковы во всех случаях. Рассмотрено применение одинаковых квадратной формы сменных режущих пластин с механическим креплением их в корпусе резца. При таком подходе можно условно считать, что во всех случаях срезается одинаковый объем материала заготовки. Предположено, что, невзирая на одинаковый объем срезанного материала, износ металлорежущего инструмента может быть различным в силу того, что могут иметь

место различные величины сил резания и различные условия стружкообразования.

Рассмотрен простейший случай точения торца заготовки, когда скорость вращения заготовки вокруг своей оси постоянна. Это означает, что скорость резания постоянно меняется. При перемещении резца снаружи к оси вращения заготовки она убывает, при перемещении резца от оси вращения наружу она возрастает. Это следует из общеизвестной формулы

$$V = \frac{\pi D \cdot n}{1000},$$

где V – скорость резания (м/мин), D – диаметр точения (мм).

Для натуральных экспериментов по проверке результатов имитационного моделирования использован токарно-винторезный станок модели 16K25 с заменой резцедержателя на токарный динамометр модели STD 201-2, сопрягаемый с ПЭВМ, что обеспечило измерение составляющих силы резания. Для измерения шероховатости использовали прибор контроля шероховатости модели TR200 со стойкой модели TA-620. Для измерения величины износа инструмента использован мультисенсорный измерительный центр (видеоизмерительная система) модели Mikro Vu Sol 161 с высокой точностью (0,001 мм) измерения.

В результате имитационного моделирования и натуральных экспериментов выявлено следующее:

1. Те покрытия, которые были рациональными [1-4] при наружной токарной обработке, не являются рациональными при точении торцов заготовок деталей, выполненных из стали марки 12X18H10T.

2. При токарной обработке торцов заготовок деталей, выполненных из стали марки 12X18H10T, рациональными являются 8 различных покрытий на инструментальном твёрдом сплаве BK8. Из них имелась техническая возможность реализовать только 4 покрытия.

Для черногого точения (глубина резания 2 мм) при перемещении резца снаружи к оси вращения заготовки детали это покрытие $Zr + ZrN + (NbZrTiAl)N$. Для чистового точения (глубина резания 1 мм) это покрытие $Ti + TiN + (NbZrTiAl)N$. Для

чернового точения (глубина резания 2 мм) при перемещении резца от оси вращения заготовки детали наружу это покрытие $Zr + ZrN + (Zr, Cr, Al)N$. Для чистового точения (глубина резания 1 мм) это покрытие $Ti + TiN + (NbZrTiAl)N$.

Во всех случаях нанесение покрытий осуществлялось методом конденсации с ионной бомбардировкой (метод КИБ) как наиболее просто реализуемом.

В сравнении с применением твёрдого сплава ВК8 без покрытия период стойкости (до износа режущей пластины 0,5 мм по задней грани) возрос в 2,8 раза для чернового точения при перемещении резца снаружи к оси вращения заготовки детали. Для чистового точения период стойкости возрос в 3,2 раза.

В сравнении с применением твёрдого сплава ВК8 без покрытия период стойко-

сти возрос в 2,3 раза для чернового точения при перемещении резца от оси вращения наружу. Для чистового точения период стойкости возрос в 2,6 раза.

В отличие от квадратных пластин [5] применение пластины круглой формы [6] существенно изменяет условия нагружения инструмента, составляющие силы резания направлены иначе, их величины иные. Соответственно, это приводит к иным внутренним напряжениям в инструментальном материале и следует ожидать иной период стойкости инструмента.

Результаты разработки покрытий для круглых сменных пластин приведены в таблице. Там же для сравнения приведены сведения для случая применения квадратных пластин.

Таблица

Рекомендуемые покрытия для твёрдого сплава ВК8 при различных условиях эксплуатации

Table

Recommended coatings for BK8 hard alloy under various operating conditions

	Черновое точение (глубина резания 2 мм)		Чистовое точение (глубина резания 1 мм)	
	Перемещение резца снаружи к оси вращения заготовки детали	Перемещение резца от оси вращения заготовки детали наружу	Перемещение резца снаружи к оси вращения заготовки детали	Перемещение резца от оси вращения заготовки детали наружу
Круглая пластина	$Zr + ZrN + Zr (ZrNbAl)N$	$Zr + ZrN + Zr (ZrNbAl)N$	$Zr + ZrN + Zr (ZrNbTi)N$	$Zr + ZrN + Zr (ZrNbTi)N$
Квадратная пластина	$Zr + ZrN + (NbZrTiAl)N$	$Zr + ZrN + (Zr, Cr, Al)N$	$Ti + TiN + (NbZrTiAl)N$	$Ti + TiN + (NbZrTiAl)N$

Необходимо сообщить следующее:

1. Указанные в таблице наноструктурированные покрытия нанесены на основу (ВК8) методом конденсации с ионной бомбардировкой (метод КИБ).

2. Рекомендуемые покрытия совершенно различны по архитектуре для применения круглой пластины и квадратной пластины. Если для работы квадратной пластины рациональными оказались трёхслойные покрытия, то для работы круглой пластины потребовались четырёхслойные покрытия, причём в них дважды используется металлическое покрытие Zr. Второй металлический слой нанесён для демпфирования вибрационной нагрузки и релаксации напряжений, формируемых тепловым потоком в зоне резания.

3. Если для квадратной пластины черновое и чистовое точение при каждом из направлений перемещения токарного резца потребовало разной архитектуры покрытия, то для круглой пластины изменение направления перемещения не потребовало изменения покрытия. Это имеет место как при чистовом, так и при черновом точении.

4. Для квадратной пластины прирост периода стойкости (до износа 0,5 мм) при перемещении резца снаружи к оси вращения заготовки детали от применения покрытий составил 2,8 раза в сравнении с ВК8 без покрытия при черновом точении и 3,2 раза при чистовом точении, а при применении круглой пластины он составил лишь 2,2 раза.

5. В общем виде прирост периода стойкости резца с круглой пластиной ниже, чем для квадратной пластины на 33 %.

Заключение

Применение покрытий на твёрдом сплаве ВК8 позволяет существенно (от 2,2 раза до 2,6 раз) увеличить период стойкости при принятых условиях точения круглой пластиной торцов заготовок, выполненных из труднообрабатываемой корро-

При этом изменение направления перемещения резца не влияет на период стойкости.

зионностойкой нержавеющей стали марки 12Х18Н10Т, спрос на которую неизменно растёт.

Полученные результаты не противоречат сложившимся представлениям [7-13] о роли покрытий.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Ситамов Э.С., Мокрицкий Б.Я. Результаты сравнительного исследования износостойкости твёрдосплавного инструмента при обработке коррозионностойкой стали // *Металлообработка*, №4 (106). 2018 С. 7-13.
2. Саблин П.А., Щетинин В.С., Мокрицкий Б.Я., Юрченко М.С. Управление шероховатостью поверхности при обработке заготовок из труднообрабатываемых и упрочненных материалов // *Упрочняющие технологии и покрытия*. 2023. Т. 19, № 2. С. 59-63. DOI: 10.36652/1813-1336-2023-19-2-59-63.
3. Мокрицкий Б.Я. О применении покрытий для точения нержавеющей сталей / Б.Я. Мокрицкий, А.В. Космынин, П.А. Саблин, В.В. Григорьев, В.Ю. Шелковников // *Транспортное машиностроение*. – 2023. – № 04. – С. 4-10. doi: 10.30987/2782-5957-2023-4-4-10.
4. Мокрицкий Б.Я., Казаров А.В. Анализ влияния различных покрытий на распределение напряжений в инструментальном материале // *Упрочняющие технологии и покрытия*. 2023. Т. 19, № 5. С. 195-197. DOI: 10.36652/1813-1336-2023-19-5-195-197.
5. ГОСТ 19049-80. Пластины режущие сменные многогранные твердосплавные квадратной формы. Конструкция и размеры (с Изменениями N 1, 2). (Межгосударственный стандарт) М.: Стандартинформ, 2006.

6. ГОСТ 19086-80. Пластины сменные многогранные твёрдосплавные. Технические условия (с Изменениями №1-6). (Межгосударственный стандарт). М.: Стандартинформ, 2006.
7. Григорьев С.Н. Методы повышения стойкости режущего инструмента (учебник для студентов вузов) М.: Машиностроение, 2009. 368 с.
8. Верещака А.С., Третьяков, И.П. Режущие инструменты с износостойкими покрытиями. - М.: Машиностроение, 1986, 192 с.
9. Остафьев В.А. Учет прочности инструмента при его проектировании и эксплуатации. // *Станки и инструмент*. 1983, № 7, с.19-20.
10. Утешев М.Х., Синюков, В.А. Напряженное состояние режущей части инструмента с округленной режущей кромкой. // *Вестник машиностроения*, 1970, № 2, с.70-73.
11. Deederich N. Metallischer Zwischenschichten im Bereich der Aufbanschneidesbildung. *Ind. -Anz.*, 1968, 90, N24, с.457-460.
12. Fuch M., Scheffer M. Ab initio pseudopotentials for electronic structure calculations of polu-atomic systems using density-finctional theory. // *Comp. Phys. Commun.* 1999. Vol. 119.P.67-11.
13. Iochen M. Schneider. Effect of transition metal additives on electronic structure and elastic properties of TiAl and Ti3Al. *Phys. Rev. B* 74, 174110, 2006.

REFERENCES

1. Sitamov ES, Mokritsky BYa. Results of a comparative study of a carbide tool wear resistance while processing corrosion-resistant steel. *Metalloobrabotka*. 2018;4(106):7-13.
2. Sablin PA, Shchetinin VS, Mokritskiy BYa, Yurchenko MS. Control of surface roughness when processing workpieces made of hard-to-process and hardened materials. *Strengthening Technologies and Coatings*. 2023;19(2):59-63. DOI: 10.36652/1813-1336-2023-19-2-59-63.
3. Mokritskiy BYa, Kosmynin AV, Sablin PA, Grigoriev VV, Shelkovnikov VYu. On the use of coatings for turning stainless steels. *Transport En-*

gineering. 2023;04:4-10. doi: 10.30987/2782-5957-2023-4-4-10.

4. Mokritskiy BYa, Kazarov AV. Analysis of the effect of various coatings on stress distribution in instrumental material. *Strengthening Technologies and Coatings*. 2023;19(5):195-197. DOI: 10.36652/1813-1336-2023-19-5-195-197.
5. GOST 19049-80. Square throw-away (indexable) carbide cutting inserts. Design and dimensions. Moscow: Standartinform; 2006.
6. GOST 19086-80. Throw-away (indexable) carbide inserts. Specifications. Moscow: Standartinform; 2006.

7. Grigoriev SN. Methods of increasing the strength of a cutting tool (textbook for students) Moscow: Mashinostroenie; 2009.
8. Vereshchaka AS, Tretyakov IP. Cutting tools with wear-resistant coatings. Moscow: Mashinostroenie; 1986.
9. Ostafyev VA. Taking into account the strength of the tool in its design and operation. Stanki I Instrument. 1983;7:19-20.
10. Uteshev MH, Sinyukov VA. Stressed state of the cutting part of the tool with a rounded cutting edge. Soviet Engineering Research. 1970;2:70-73.

11. Deederich N. Metallischer Zwischeuschichten im Bereich der Aufbanschneidesbildung. Ind. -Anz. 1968;90(24):457-460.
12. Fuch M, Scheffer M. Ab initio pseudopotentials for electronic structure calculations of polu-atomic systems using density-functional theory.//Comp. Phys. Commun. 1999;119:67-11.
13. Iochen M Schneider. Effect of transition metal additives on electronic structure and elastic properties of TiAl and Ti3Al. Phys. Rev. 2006;74:174110.

Информация об авторах:

Мокрицкий Борис Яковлевич – доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник УНИД, профессор кафедры «Машиностроение», ФГБОУ ВО Комсомольский-на-Амуре государственный университет, член-корреспондент инженерной академии России, Scopus-Author ID 646953, Research- ID-Web of Science E-1700-2015, Author-ID-РИНЦ 00009705, тел. 914-175-756.

Григорьев Владимир Владимирович – кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО Комсомоль-

ский-на-Амуре государственный университет, тел. 914-183-0299.

Скрипилёв Александр Александрович – кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО Комсомольский-на-Амуре государственный университет, тел. 914-179-2859.

Марьин Сергей Борисович – доктор технических наук, доцент, Scopus-Author ID 56709331000, Research- ID-Web of Science P-9374-2015 Author-ID-РИНЦ 0000-0003-1331-2022, тел. 914-177-8755.

Mokritsky Boris Yakovlevich – Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Researcher at UNID, Professor of the Department of Mechanical Engineering at Komsomolsk-on-Amur State University, Corresponding Member of the Engineering Academy of Russia, Scopus-Author ID 646953, Research-ID-Web of Science E-1700-2015, Author-ID-RSCI 00009705, phone 914-175-756.

Grigoryev Vladimir Vladimirovich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Komsomolsk-on-Amur State University, phone 914-183-0299.

Skrpilyov Aleksandr Aleksandrovich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Komsomolsk-on-Amur State University, phone 914-179-2859.

Maryin Sergey Borisovich – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Scopus-Author ID 56709331000, Research- ID-Web of Science P-9374-2015, Author-ID-RSCI 0000-0003-1331-2022, phone 914-177-8755.

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 опубликована в режиме Open Access.
Article published in Open Access mode.

Статья поступила в редакцию 12.03.2024; одобрена после рецензирования 13.03.2024; принята к публикации 26.04.2024. Рецензент – Нагоркин М.Н., доктор технических наук, доцент Брянского государственного технического университета.

The article was submitted to the editorial office on 12.03.2024; approved after review on 13.03.2024; accepted for publication on 26.04.2024. The reviewer is Nagorkin M.N., Doctor of Technical Sciences, Associate Professor of Bryansk State Technical University.