

Научноёмкие технологии в машиностроении. 2026. №5 (179). С. 3-9.  
Science intensive technologies in mechanical engineering. 2026. №5 (179). P. 3-9.

Обзорная статья  
УДК 620.178.169+621.941.025.7  
doi: 10.30987/2223-4608-2026-5-3-9

## Технологическое обеспечение износостойкости реза дорожной фрезы лазерным упрочнением

Михаил Геннадьевич Шалыгин<sup>1</sup>, д.т.н.

Гаджи Хирасухмаевич Рамазанов<sup>2</sup>, аспирант

<sup>1,2</sup> Брянский государственный технический университет, Брянск, Россия

<sup>1</sup> migshalygin@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8102-9918>

<sup>2</sup> spektrbs32@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0000-0000-0000>

**Аннотация.** Представлены исследования дорожной фрезы, в частности, ее реза. Показано, что твердосплавный наконечник реза дорожной фрезы подвержен износу в процессе эксплуатации. Дан обзор исследований по повышению износостойкости реза. Установлено, что твердосплавный наконечник реза, изготовленный из вольфрамокобальтового сплава, определяет ресурс работы реза. Предложено обработать поверхность твердосплавного наконечника реза лазерным излучением малой интенсивности. Лазерную обработку проводили при нескольких режимах изменяя длину волны и мощность излучения при постоянных площади пятна контакта и частоте излучения. Установлено, что число пор на поверхности наконечника твердосплавного реза, измеренные по ГОСТ 9391-80, становится меньше. В связи с определением числа пор в соответствии с ГОСТ 9391-80 визуальным методом принято решение определения число пор посредством исследования проводимости участка поверхности на атомно-силовом микроскопе. При этом считалось, что отсутствие проводимости в заданном диапазоне, свидетельствует о наличии поры. Установлено, что при длине волны 50 нм, мощности 25 Вт, площади пятна контакта 0,05 мм<sup>2</sup> и частоте излучения 30 Гц значительно уменьшается число пор. Даны предположения о причинах уменьшения числа пор, связанные с активацией молекул в матрице в области наибольшего скопления пор, в частности в данном случае вблизи кобальтовой связки. Проведены испытания на износ на разработанной установке, позволяющей имитировать работу дорожной фрезы. Установлено, что при выработке асфальтового покрытия на глубину 450 мм образец, обладающей меньшим числом пор, по сравнению с другими, изнашивается значительно медленнее.

**Ключевые слова:** твердый сплав, лазерная обработка, резец, износ, пористость

**Для цитирования:** Шалыгин М.Г., Рамазанов Г.Х. Технологическое обеспечение износостойкости реза дорожной фрезы лазерным упрочнением // Научноёмкие технологии в машиностроении. 2026. № 5 (179). С. 3–9. doi: 10.30987/2223-4608-2026-5-3-9

## Technological support of a life pattern of a road harrow cutter tip by laser hardening

Mikhail G. Shalygin<sup>1</sup>, D. Eng.

Gadji H. Ramazanov<sup>2</sup>, PhD student

<sup>1,2</sup> Bryansk State Technical University, Bryansk, Russia

<sup>1</sup> migshalygin@yandex.ru

<sup>2</sup> spektrbs32@mail.ru

**Abstract.** Studies of a road harrow, in particular, its cutter, are presented. It is shown that the carbide tip of the road harrow cutter is subjected to wear while in operation. An overview of studies on increasing the life pattern of the cutter is given. It is found that the carbide tip of the cutter, made of tungsten-cobalt alloy, determines the service life of the cutter. It is proposed to treat the surface of the carbide tip of the cutter with low-intensity laser emission. The laser treatment was performed in several modes, changing the wavelength and radiation power at constant contact spot area and radiation frequency. It has been found that the number of pores on the surface of the carbide cutter tip, measured according to the State Standard (GOST 9391-80), is decreasing. In the context of pores number determination in accordance with the State Standard (GOST 9391-80) by the visual method, it was decided to determine the number of pores by examining the conductivity of a surface area using an atomic force microscope. At the same time, it was believed that the absence of conductivity in a given range indicates pore's occurrence. It was found that at a wavelength of 50 nm, a power of 25 W, a contact spot area of 0,05 mm<sup>2</sup> and an emission frequency of 30 Hz, the number of pores significantly decreases. Assumptions are made concerning the reasons for the decrease in the number of pores related to the activation of molecules in the matrix in the area of the largest accumulation of pores, in particular in this case near the cobalt bond. Wear tests were carried out on a developed installation that allows simulating the operation of a road harrow cutter. It was found that when blacktop is worn to a depth of 450 mm, a sample with fewer pores wears out much more slowly than others.

**Keywords:** hard alloy, laser treatment, cutter, wear, porosity

**For citation:** Shalygin M.G., Ramazanov G.H. Technological support of a life pattern of a road harrow cutter tip by laser hardening / Science intensive technologies in mechanical engineering. 2026. № 5 (179). P. 3–9. doi: 10.30987/2223-4608-2026-5-3-19

## Введение

При ремонте дорожного полотна верхний слой асфальтодорожного покрытия снимается специальной техникой – дорожной фрезой. Фреза содержит барабан, на котором расположены резцы. В процессе фрезерования барабан с резцами вращаясь с большой скоростью срезают слой асфальта на заданную глубину. Барабан дорожной фрезы с резцами относится к быстроходным рабочим органам, имеющим повышенные скорости обработки асфальтобетона. Принимая во внимание, что при увеличении как линейной скорости относительного перемещения, так и угловой скорости вращения фрезы, возрастают затраты, связанные с потерей мощности, повышается износ рабочих инструментов. Высокая твердость (12...16 ГПа) и прочность (10...30 МПа) частиц гранита, входящих в состав асфальтобетона, вызывает интенсивное разрушение корпуса резца под действием сложного механизма изнашивания частицами закрепленного и незакрепленного абразива, с наличием локальных ударных нагрузок и пластического оттеснения микрообъемов металла [1, 2].

Повышению износостойкости и долговечности твердосплавных резцов дорожной фрезы посвящено большое число работ. Так, предложено использование ионно-плазменной и ионно-лучевой обработок для повышения износостойкости резцов дорожных фрез [3]. Некоторые исследователи рассматривают химико-термическую обработку в качестве меры повышения долговечности корпуса резцов дорожной фрезы [4]. Проводятся исследования

влияние на структуру и свойства твердых сплавов наноразмерных углеродных добавок [5]. В работе [6] разработан алгоритм оценки долговечности вращающихся резцов с износостойкими вставками сложной формы, применяющимися в дорожных фрезях, основанный на форме вставки, предельном значении линейного параметра износа, угла между линией резания и осью вращения резца, радиуса дорожной фрезы, глубины разрабатываемой траншеи и обобщенного параметра абразивности. Исследуется сила сопротивления резанию при фрезеровании асфальтобетона и ее влияние на износ [7]. В этой связи целью настоящей статьи является увеличение разработка технологии повышения износостойкости резца дорожной фрезы с наконечником из вольфрамокобальтового твердого сплава.

## Материалы и методы

Объектом исследования является твердосплавный резец дорожной фрезы, с вольфрамокобальтовым твердосплавным наконечником. Снимок резца с завода изготовителя представлен на рис. 1, а, а на рис. 2, б – снимок изношенного резца. Часть наконечников образцов была подвержена лазерной обработке различной интенсивности: длине волн 25...75 нм, мощности 20...30 Ватт, площади пятна лазерного луча (контакта) 0,05 мм<sup>2</sup>; частоте излучения 30 Гц. Плотность мощности лазерного излучения 400...600 Ватт/мм<sup>2</sup>. Скорость относительного перемещения лазерного излучения по поверхности наконечника 2...3,5 мкм/с.



*a)*



*б)*

**Рис. 1. Резец дорожной фрезы:**

*a* – новый резец; *б* – изношенный резец

**Fig. 1. The cutter of the road harrow:**

*a* – new cutter; *b* – worn cutter

Испытания на износ проводили на спроектированной установке, имитирующей работу барабана дорожной фрезы (рис. 2). Установка оснащена барабаном, содержащим 3 резца, расположенным так, что в установке резцы перемещаются относительно срезаемого контртела также, как в реальных условиях. То есть резцы, совершая вращательные движения на барабане, врезаются в абразивный материал (контртело) под углом к нормали. Такое расположение резцов позволяет осуществлять ровный срез, как и происходит в реальных условиях. Испытания проводили до углубления резцов в асфальтовое покрытие на глубину 450 мм. Барабан с резцами подвели к асфальтовому покрытию с помощью системы рычагов (рис. 3). Асфальтобетонную смесь изготавливали в соответствии с ГОСТ Р 58406.2-20 (рис. 4). Пористость асфальтобетонной смеси находилась в пределах 1,0...2,5 %. С целью ускорения испытаний в качестве минеральных зерен смеси использовали гравийные зерна со средним размером зерна 40 мм.



**Рис. 2. Установка для испытаний на износ [8]**

**Fig. 2. Wear testing facility [8]**



**Рис. 3. Подвод барабана к асфальтовому покрытию**

**Fig. 3. Feeding the drum to the bituminous mixture**



Рис. 4. Образцы асфальтового покрытия

Fig. 4. Samples of blacktop

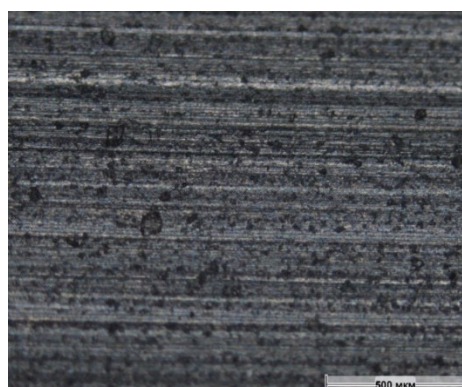
Износ резцов контролируется весовым методом, посредством измерения массы резцов до и после процесса испытаний. Резец дорожной фрезы, поставленной заводом изготовителем, имеет массу 321,6 гр. (Wirtgen НТ3/НТ11).

Пористость по ГОСТ 9391-80 определяли на микроскопе Leica DM750 при увеличении 100 крат. Также с целью определения пористости проводили исследования поверхности на атомно-силовом микроскопе (АСМ) Femtoscan. Возможность определения пористости на АСМ заключается в следующем. В каждой точке поверхности  $X$  и  $Y$  снимается силовая кривая – зависимость силы

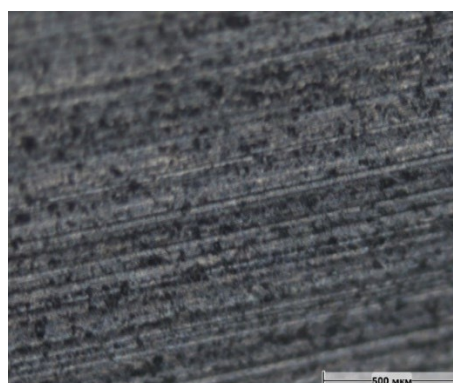
взаимодействия между зондом и изучаемой поверхностью от расстояния  $Z$  между ними. Обычно записываются две кривые: одна соответствует сближению зонда с поверхностью, вторая – их взаимному удалению. Получается массив кривых размером  $128 \times 128$ ,  $256 \times 256$  или  $512 \times 512$ . В работе [9] показано, что пленки на поверхности на основе сополимеров ДАДФО:ДАДФАСК и ПАСК:ПЭА характеризуются наличием дефектов средним радиусом  $70 \dots 90$  нм, содержание которых изменяется от 4 до 6 % от всей площади поверхности образца. Подобные дефектные области, вероятно, представляют собой крупные межгелевые фрагменты, не содержащие функциональных групп, и поэтому не могут рассматриваться как проводящие каналы, несмотря на высокую диффузионную подвижность малых молекул воды или спиртов в них. Таким образом, имеется возможность определения пористости на АСМ.

### Результаты и обсуждение

Из шести образцов пять были подвергнуты лазерной обработке различной мощностью и длиной волны. Учитывая конструкцию испытательной установки – каждый образец состоял из трех резцов. Для определения числа пор использовалось понятие пористость и методика исследования по ГОСТ 9391-80. При изучении снимков микрошлифов при увеличении ( $\times 100$ ) установлено, что пористость уменьшилась (рис. 5). Диапазон значений пористости образцов приведена в табл. 1.



а)



б)

Рис. 5. Шлиф поверхности наконечника резца  $\times 100$ :

а – базовый; б – обработанный лазером

Fig. 5. The surface of the tip of the cutter  $\times 100$ :

а – basic; б – laser-treated

1. Диапазон значений пористости образцов

1. The range of porosity values of the samples

	Шкала по ГОСТ 9391-80				
	A	B	C	D	E
Базовые образцы	0,2...0,8	0,4	0,4...0,8	0,1...0,8	3,0
Образцы, обработанные лазером	0,08	0,02...0,2	0...0,1	0...0,1	2,0...3,0

Следует отметить, что сравнение пористости по ГОСТ 9391-80 представляет сложную задачу для образцов со схожей визуализацией пор на шлифе. Поверхность наконечника твердосплавного резца дорожной фрезы, изготовленной из вольфрамокобальтового сплава, подвергалась лазерной обработке малой интенсивности с целью селективного возбуждения молекул и уменьшения числа пор. Возможность фокусировки лазерного излучения позволяет вводить энергию в определенную область объема. Монохромность лазерного излучения позволяет селективно возбуждать

молекулы одного вида. Режимы лазерного излучения подобраны (табл. 2) при которых происходит активация молекул в матрице в области наибольшего скопления пор, в частности в данном случае вблизи кобальтовой связки. В результате происходит сплавление металлической основы на некоторой глубине от поверхности, и как следствие закрытие пор (рис. 6, рис. 7). В этой связи была исследована проводимость поверхности наконечников твердосплавного резца на АСМ Femtoscan. При отсутствии проводимости принималось, что в данном месте существует пора.

2. Режимы лазерной обработки и пористость образцов

2. Laser treatment modes and porosity of samples

образец, №	длина волны, нм	мощность, Вт	площадь пятна контакта, мм <sup>2</sup>	частота излучения, Гц	пористость (от проводимости)
1	не обработанный резец, исходное состояние				A 0,4
2	50	20	0,05	30	A 0,2
3	50	25	0,05	30	A 0,04
4	50	30	0,05	30	A 0,2
5	25	25	0,05	30	A 0,4
6	75	25	0,05	30	A 0,4

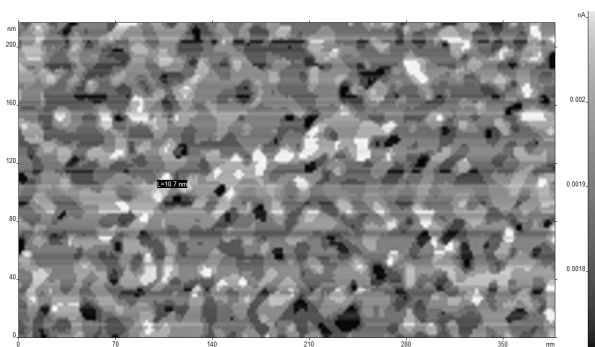


Рис. 6. Результат исследования проводимости участка образца № 1 (табл. 2)

Fig. 6. The result of the study of the conductivity of the sample section No. 1 (Table 2)

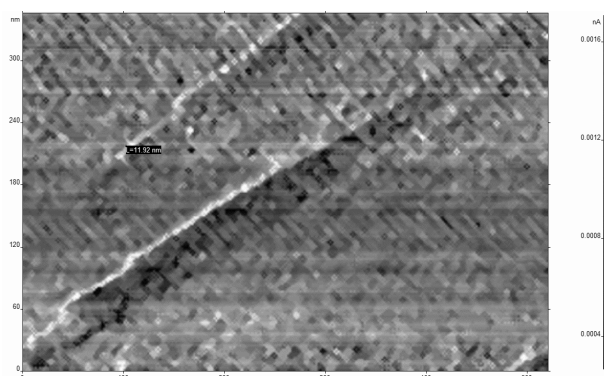


Рис. 7. Результат исследования проводимости участка образца № 3 (табл. 2)

Fig. 7. The result of the study of the conductivity of the sample section No. 3 (Table 2)

При сопоставлении рис. 6 и 7 хорошо видны участки с низкой проводимостью, которые являются более темными. При этом на рис. 6 отчетливо видны кристаллиты, которых не видно на рис. 7. Различие участков по проводимости обусловлено различной проводимостью различных карбидов и связующего элемента. Совсем черные участки обладают нулевой проводимостью и вероятнее всего являются порами между кристаллитами, полученными при спекании твердого сплава.

Так, образец № 1, не обработанный лазером, имел пористость  $A 0,4$ . Далее изменяли мощность лазера, при остальных неизменных параметрах, при которых: при мощности 20 Вт (образец № 2) пористость уменьшилась до  $A 0,2$ ; при мощности 25 Вт (образец № 3) –  $A 0,04$ ; при мощности 30 Вт (образец № 4) –  $A 0,2$ . Установлено, что при значении

мощности в 25 Вт (образец № 3) достигается наименьшая пористость. Далее при данном значении мощности варьировалась длина волны: при длине волны 25 нм. (образец № 5) пористость составила  $A 0,4$ , при длине волны 75 нм. (образец № 6) –  $A 0,4$ . Так как изменение длины волны не привело к изменению пористости по сравнению с образцом № 1, который не подвергался обработке лазером, установлены рациональные режимы лазерной обработки для уменьшения пористости твердосплавного резца дорожной фрезы, изготовленного из вольфрамокобальтового сплава.

Таким образом, на износ испытывали образцы № 1 и № 3 (табл. 2). Результаты испытаний сведены в одну табл. 3. Из таблицы видно, что за выработку слоя асфальта глубиной 450 мм резцы № 1 износились в среднем на 18,2 г, резцы № 3 – 9,2 г.

### 3. Результаты испытаний на износ резцов дорожной фрезы

#### 3. Test results for the wear of the road harrow cutters

Образец, №	Выработка асфальта по глубине, мм	Масса после испытаний на износ, мг			
		резец 1	резец 2	резец 3	средний по 3-м резцам
1	450	303,3	303,6	303,3	303,4
2		306,6	306,6	306,7	306,63
3		312,5	312,4	312,3	312,4
4		306,7	306,6	306,7	306,66
5		303,3	303,5	303,4	303,4
6		303,6	303,5	303,4	303,5

По средним значениям наименьшая потеря массы наблюдается у образца № 3. Наибольшая потеря массы, по средним значениям, у образцов № 1 и № 5, следовательно, выбранный режим лазерной обработки для образца № 5 не приводит к уменьшению износа резца.

#### Заключение

При исследовании структуры материала твердосплавного резца дорожной фрезы выполнено определение пористости поверхности. На образце, обработанном лазером число черных участков значительно меньше. Таким образом лазерная обработка твердого сплава позволяет уменьшить число пор. Испытания на износ показали, что образцы, обработанные лазером и, соответственно, имеющие меньшую

пористость за выработку слоя асфальта глубиной 450 мм износились в среднем на 9,2 г, резцы, без дополнительной обработки – 18,2 г.

#### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Рамазанов Г.Х. Износ инструмента дорожной фрезы и модели эффективности резания // Научные технологии в машиностроении. № 1. 2023. С. 42–48.
2. Рамазанов Г.Х. Проблема износостойкости резца дорожной фрезы // Строительные и дорожные машины. № 3. 2023. С. 24–26.
3. Кирюшкина Н.А., Орлов П.В. Применение ионно-плазменной и ионно-лучевой обработок для повышения износостойкости резцов дорожных фрез // Фундаментальные и прикладные исследования молодых учёных: материалы Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных, Омск, 08–09 февраля 2017 года / Министерство образования и науки Российской Федерации; Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ). Омск: Сибирская государственная

автомобильно-дорожная академия (СибАДИ), 2017. С. 239–244. EDN YSWHDP.

4. Кузнецов К.Ю., Колмыков В.И., Кузнецова Л.П.

О возможности повышения долговечности корпуса резцов дорожной фрезы химико-термической обработкой // Современные материалы, техника и технологии. 2024. № 2 (53). С. 34–43. EDN WMWQME.

5. Витязь П.А., Жорник В.И., Ковалева С.А., Кукареко В.А. Изменение структуры и свойств спеченных сплавов под влиянием наноразмерных углеродных добавок. // Известия вузов. Порошковая металлургия и функциональные покрытия. 2014. С. 12–18. <https://doi.org/10.17073/1997-308X-2014-4-12-18>

6. Осипов С.П., Школьный А.Н., Бида К.Б., Мальков А.В. Оценка долговечности работающих резцов с износостойкими вставками произвольной формы // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2014. № 5 (46). С. 167–174. EDN STBMMR.

7. Фурманов Д.В., Шамахов Л.М., Лысаков Н.Э. Влияние износа режущего элемента дорожной фрезы на силу сопротивления резанию асфальтобетона // Вестник СибАДИ. 2023 Т. 20, № 2 (90). С. 204–216. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2023-20-2-204-216>

8. Патент на изобретение № 218066 Устройство для испытаний на износ дорожной фрезы. Заявлено 13.12.2022г. Получено 04.05.2023г. Автор Рамазанов Г.Х.

9. Дьяконова О.В., Соколова С.А., Зяблов А.Н. Структурные характеристики поверхностей мембранных материалов различной химической природы по данным сканирующей зондовой микроскопии // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2011. № 4 (31). С. 55–58.

## REFERENCES

1. Ramazanov G.H. Tool wear of a road milling cutter and models of cutting efficiency. Science-intensive technologies in mechanical engineering. No. 1. 2023. pp. 42–48

2. Ramazanov G.H. The problem of wear resistance of a road milling cutter. Construction and road machinery. No.3. 2023. pp. 24–26.

3. Kiryushkina N.A., Orlov P.V. The use of ion plasma and ion beam treatments to increase the wear resistance of road milling cutters // Fundamental and applied research of young scientists: proceedings of the International Scientific and Practical Conference of Students, Postgraduates and Young Scientists, Omsk, 08-09 February 2017 / Ministry of Education and Science of the Russian Federation; Siberian State Automobile and Road University (SibADI). Omsk: Siberian State Automobile and Road Academy (SibADI), 2017. pp. 239–244. EDN YSWHDP.

4. Kuznetsov K.Yu., Kolmykov V.I., Kuznetsova L.P. Strengthening the cutter body of a road milling machine by thermochemical treatment. // Modern materials, machinery and technologies. 2024. No. 2 (53). pp. 34–43. EDN WMWQME.

5. Vityaz P.A., Zhornik V.I., Kovaleva S.A., Kukareko V.A. Changes in the structure and properties of sintered alloys under the influence of nanosized carbon additives. // Izvestiya vuzov. Powder metallurgy and functional coatings. 2014. pp. 12–18 <https://doi.org/10.17073/1997-308X-2014-4-12-18>

6. Osipov S.P., Shkolny A.N., Bida K.B., Malkov A.V. Durability evaluation of rotary cutters with wear resistant inserts of arbitrary form // Bulletin of Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering. 2014. No. 5 (46). pp. 167–174. EDN STBMMR.

7. Furmanov D.V., Shamakhov L.M., Lysakov N.E. The effect of wear of the cutting element of a road milling cutter on the strength of resistance to cutting asphalt concrete. Bulletin of the Siberian State Automobile and Road University. 2023; vol. 20(2). pp. 204–216.

8. Patent of invention No. 218066 Device for testing the wear of a road milling cutter. Application 13.12.2022. Have been granted on 05/04/2023 Author Ramazanov G.H.

9. Dyakonova O.V., Sokolova S.A., Zyablov A.N. Structural characteristics of surfaces of membrane materials of various chemical nature according to scanning probe microscopy data // Bulletin of the Voronezh State Agrarian University. 2011. No. 4 (31). pp. 55–58

**Вклад авторов:** все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Contribution of the authors:** the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 05.05.2025; одобрена после рецензирования 09.12.2025; принята к публикации 12.01.2026.

The article was submitted 05.05.2025; approved after reviewing 09.12.2025; assepted for publication 12.01.2026.