

Научная статья  
Статья в открытом доступе  
УДК 621.9  
doi: 10.30987/2782-5957-2025-9-22-27

## РЕЗУЛЬТАТЫ ФРЕЗЕРОВАНИЯ СВЕРХТВЁРДЫХ НАПЛАВОК СБОРНОЙ ФРЕЗОЙ

Борис Яковлевич Мокрицкий<sup>1✉</sup>, Александр Александрович Скрипилёв<sup>2</sup>, Олег Евгеньевич Сысоев<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Комсомольский-на-Амуре государственный университет, Комсомольск-на-Амуре, Россия

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

<sup>2</sup> Skripilev.aal@email.knastu.ru

<sup>3</sup> Sisoev O.E. fks@knastu.ru; <https://orcid.org/0000-0001-5932-8893>

### Аннотация

Цель работы: установление рациональных параметров режима резания сборной специальной фрезой производства СКИФ-М сверхтвёрдых (HRC 65 и более) наплавов.

Результаты исследования: показана рациональность применения сборной фрезы в сравнении с монокристаллическими твёрдосплавными концевыми фрезами, выявлена область рациональных параметров режима резания такой фрезой. Установлено, что наиболее рационально применение фрезы при скорости резания 50 м/мин, глубине резания 2 мм и подаче на зуб фрезы 0,05 мм. Показано, что повышение скорости резания, глубины резания, либо подачи на зуб нерационально.

### Выводы:

1. Цель достигнута путём экспериментального исследования работоспособности фрезы по периоду стойкости до износа 0,5 мм при разных условиях эксплуатации.

2. Установлено, что с ростом глубины резания период стойкости существенно уменьшается и становится критическим при глубине резания 3 мм.

Новизна работы: установлены области рационального применения специальной фрезы производства СКИФ-М при обработке наплавов HRC 65 и более.

**Ключевые слова:** наплавки, обработка, эксплуатация, фреза, детали, исследование, резание.

### Ссылка для цитирования:

Мокрицкий Б.Я. Результаты фрезерования сверхтвёрдых наплавов сборной фрезой / Б.Я. Мокрицкий, А.А. Скрипилев, О.Е. Сысоев // Транспортное машиностроение. – 2025. – № 9. – С. 22-27. doi: 10.30987/2782-5957-2025-9-22-27.

Original article  
Open Access Article

## RESULTS OF MILLING SUPERHARD SURFACES WITH AN INTERLOCKING SIDE MILL

Boris Yakovlevich Mokritsky<sup>1✉</sup>, Aleksandr Aleksandrovich Skripilyov<sup>2</sup>, Oleg Evgenyevich Sysoev<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Komsomolsk-on-Amur State University, Komsomolsk-on-Amur, Russia

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

<sup>2</sup> Skripilev.aal@email.knastu.ru

<sup>3</sup> Sisoev O.E. fks@knastu.ru; <https://orcid.org/0000-0001-5932-8893>

### Abstract

The paper objective is to find the rational parameters of the cutting mode with a special SKIF-M interlocking side mill for superhard (HRC 65 and more) surfaces.

The study results are the following: the rationality of using an interlocking side mill in comparison

with monolithic carbide end mills is shown, the area of rational parameters of the cutting mode with this mill is given. It is found that the most rational use of a mill is at a cutting speed of 50 m/min, a cutting depth of 2 mm and a feed per milling tooth of 0.05 mm. It is shown

that an increase in cutting speed, cutting depth, or feed to the tooth is irrational.

Conclusions:

1. The objective is achieved by experimentally examining the mill's operability for a wear resistance period of 0.5 mm under different operating conditions.

Reference for citing:

Mokritsky BYa, Skripilyov AA, Sysoev OE. Results of milling superhard surfaces with an interlocking side mill. *Transport Engineering*. 2025;9:22-27. doi: 10.30987/2782-5957-2025-9-22-27.

## Введение

В условиях роста требований к материалам деталей, эксплуатируемым в объектах космической и оборонной промышленности, возникает необходимость на основном материале, имеющем нормальную твёрдость, создать слой, имеющий высокую твёрдость, например, HRC 65 и выше. Для получения такого высокотвёрдого материала могут применяться различные технологии, в частности, наплавка специальной порошковой проволокой. Условимся далее называть этот материал наплав-

## Методология исследования

В основу методологии исследования положены экспериментальные исследования процесса фрезерования сборными фрезами с рабочими пластинами из твердого сплава. В процессе обработки контролировался период стойкости инструмента. Результаты применения монолитных концевых твёрдосплавных фрез изложены ранее в работах [1, 2]. В них показана возможность такой обработки и рекомендованы

2. It is found out that with increasing cutting depth, the durability period decreases significantly and becomes critical at a cutting depth of 3 mm.

The novelty of the work: the areas of rational use of a special SKIF-M mill for treating surfaces of HRC 65 and more are established.

**Keywords:** surfaces, treatment, operation, mill, parts, research, cutting.

кой. Толщина такого слоя может составлять 9...10 мм. Ширина слоя может быть разной. В наших исследованиях применена ширина 8,0 – 8,5 мм. Такие наплавки могут быть расположены вплотную друг к другу (это нами использовано) или на некотором расстоянии. Поверхность наплавки требует обработки для придания заготовке детали необходимых формы и размеров. По ряду причин обработка шлифованием исключается. Нами рассмотрена обработка наплавки фрезерованием.

соответствующие параметры режима резания. Вместе с тем, такая обработка является малопродуктивной в связи с ограниченным диаметром использованных фрез.

В данной статье рассмотрены особенности обработки наплавки сборной фрезой с механическим креплением сменных твёрдосплавных пластин. Пример такой фрезы показан на рисунке.



а)



б)

Рисунок. Фото фрезы: а – общий вид; б – блоки и их маркировка  
Fig. Photos of the mill: a – general view; b – blocks and their marks

В исследованиях использовалась фреза диаметром 125 мм производства фирмы «СКИФ – М». На фрезе установлены 12 инструментальных блоков. Конструкция блоков предусматривает использование квадратных твердосплавных пластин с отверстием. Крепление пластин выполнено через отверстие. Фреза поставляется с несколькими комплектами режущих пластин, в данном случае в наличии было 5 комплектов. Фреза способна работать как боковыми сторонами, так и периферией. В исследованиях обработка выполнялась периферией фрезы. Фреза устанавливалась на штатной оправке, которая закреплялась в горизонтальном шпинделе широкоуниверсального фрезерного станка модели 6К81 Ш.

В ходе экспериментов изменялись глубина резания, скорость резания и подача. Обработка проводилась по всей ширине наплавленного слоя, чередуя попутное и встречное фрезерование. При этом обработка проводилась практически на всю ширину пластины (20 мм).

Цикл работы организовали следующим образом. Заготовку детали с наплавками устанавливали и закрепляли на столе станка. Настраивались величины частоты вращения шпинделя и минутной подачи. Инструмент подводился к заготовке, устанавливалась требуемая глубина резания. Затем выполнялось фрезерование на всю длину заготовки. Фреза срезала слой наплавки на всю свою ширину (20 мм). По завершению прохода, инструмент смещался относительно заготовки на 18 мм и процесс фрезерования повторялся в противоположном направлении. Таким образом, в ходе обработки было реализовано как по-

### **Обсуждение полученных результатов**

Результаты эксплуатации фрезы, показанные в таблице, позволяют сделать следующие выводы:

1. Скорость резания 50 м/мин и подача на зуб 0,05 мм/зуб оказались наиболее благоприятными по периоду стойкости режущих пластин. Увеличение скорости резания (до 60 м/мин) привело к снижению периода стойкости, а повышение подачи на зуб до 0,08 мм/зуб привело к суще-

путное, так и встречное фрезерование. Машинное время работы фрезы фиксировали секундомером. После выхода фрезы из материала наплавки опять смещали стол с заготовкой в поперечном направлении на величину 0,9 от ширины фрезы. Так чередовали встречное и попутное фрезерование до тех пор, насколько хватало наплавки на заготовке детали.

Затем опять задавали требуемую глубину резания и повторяли цикл действий. Так проводили обработку до тех пор, пока имелась высота наплавки (исключали фрезерование основы заготовки детали).

При этом эпизодически визуально (с применением лупы) наблюдали состояние режущих пластин. При заметном блеске режущих кромок пластин измеряли величину износа по задней грани. После достижения износа 0,5 мм на пяти или более режущих пластинах режущую пластину поворачивали на 90 градусов и продолжали фрезерование.

К фрезе имелось ещё три дополнительных комплекта режущих пластин. Таким образом, имелась возможность дублировать результаты, так как суммарно имелось 144 (12 зубьев фрезы, каждый из которых имел пластину с 4-мя режущими кромками, три комплекта пластин) режущих кромок.

Обработка проводилась с глубинами резания 1, 2 и 3 мм. Скорость резания варьировали от 30 м/мин до 60 м/мин. Подача на зуб фрезы во всех случаях оставалась постоянной, а именно равной 0,05 мм/зуб. Увеличение подачи приводило к сколу режущих пластин. Уменьшение подачи снижало производительность обработки.

ственному снижению периода стойкости при глубине резания 1 мм и к сколу кромок режущих пластин при глубинах резания 2 и 3 мм.

2. Максимальный разброс (на четыре минуты) периода стойкости в комплектах 1–3 отмечен при глубине резания 1 мм (от 40 до 44 минут). Это свидетельствует об относительно хорошем качестве режущих пластин, а причиной разброса могут быть

разные результаты базирования режущих пластин при их повороте на 90 градусов, разные усилия их закрепления на блоках, разное усилие закрепление блоков в корпусе фрезы и т.д.

При глубине резания 2 мм разброс составил 3 минуты (от 32 до 35 минут).

При глубине резания 3 мм режущие пластины не выдержали испытания, а разброс периода стойкости пластин, входящих в комплекты 1 и 2, минимален, он составил 2 минуты.

Таблица

Период стойкости, минуты, режущих пластин при разных условиях эксплуатации сборной фрезы

Table

*Durability period (min) of cutting plates under different operating conditions of the interlocking side mill*

При скорости резания 50 м/мин, подаче на зуб 0,05 мм			При скорости резания 60 м/мин, подаче на зуб 0,05 мм	При скорости резания 60 м/мин, подаче на зуб 0,08 мм
Среднее значение** периода стойкости* по режущим кромкам фрезы в комплекте:				
комплект 1	комплект 2	комплект 3	Комплект 4	Комплект 5
Глубина резания 1 мм				
42	44	40	28	12
Глубина резания 2 мм				
34	32	35	26	Скол кромок режущих пластин на первых трёх минутах резания
Глубина резания 3 мм				
26	24	Скол кромок режущих пластин на установившемся периоде резани (фреза завершила период врезания) при встречном фрезеровании	Скол кромок режущих пластин на установившемся периоде резани (фреза завершила период врезания) при встречном либо при попутном фрезеровании	Скол кромок режущих пластин на первой же минуте резания.

Примечания:

\*Под периодом стойкости понимается время работы фрезы до износа режущих пластин по задней грани 0,5 мм.

\*\*Под средним значением понимались случаи, когда из 12 зубьев фрезы наблюдался износ (или скол) более, чем на 3 зубьях фрезы.

3. С увеличением глубины резания снижение периода стойкости происходит не пропорционально, а именно:

а) переход с глубины резания 1 мм на глубину резания 2 мм в комплекте 1 режущих пластин привёл к снижению периода стойкости на 8 минут, в комплекте 2 – на 12 минут, в комплекте 3 – на 5 минут, в комплекте 4 – на 2 минуты;

б) переход с глубины резания 2 мм на глубину резания 3 мм в комплекте 1 ре-

жущих пластин привёл к снижению периода стойкости на 8 минут, в комплекте 2 – тоже на 8 минут;

в) переход с глубины резания 1 мм на глубину резания 3 мм в комплекте 1 режущих пластин привёл к снижению периода стойкости на 16 минут, в комплекте 2 – на 20 минут.

4. В сравнении с применением монокристаллических концевых твёрдосплавных фрез, указанных в работах [1, 2], применение

указанной сборной фрезы позволило повысить период стойкости более, чем в 10 раз.

### Заключение

В статье изложены результаты применения для лезвийной обработки высокотвёрдых наплавов сборной фрезы, конструкция которой разработана и фреза изготовлена ведущей в РФ инструментальной фирмой «СКИФ – М», Показана рациональность её применения в сравнении с монолитными твёрдосплавными концевыми

Полученные результаты не противоречат имеющимся данным других исследователей [3–8].

ми фрезами, выявлена область рациональных параметров режима резания такой фрезой. Именно показано, что рационально применение при скорости резания 50 м/мин, глубине резания 2 мм и подаче на зуб фрезы 0,05 мм. Показано, что повышение скорости резания либо глубины резания, либо подачи на зуб нерационально.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Мокрицкий Б.Я., Скрипилёв А.А. Управление фрезерованием высокотвёрдых заготовок // Вестник машиностроения. 2022. № 12. С. 72—75. DOI: 10.36652/0042-4633-2022-12-72-75.
2. Мокрицкий Б.Я., Мокрицкая Е.Б. Лезвийная обработка упрочнённых материалов. Часть 3. Обработка заготовок деталей, упрочнённых наплавками высокой твёрдости // Упрочняющие технологии и покрытия. 2021. Том 17. №11, с. 495 – 497. Doi: 10.36652/1813-1336-2021-17-11-495-497.
3. Киричек А.В. Статико-импульсная обработка и оснастка для её реализации/ А.В. Киричек, А.Г. Лазуткин, Д.Л. Соловьёв // СТИН. 1999. №6. С. 20-24.
4. Верещака А.А., Верещака А.С., Григорьев С.Н. Многослойно-композиционные наноструктурированные покрытия режущих инструментов, работающих в тяжёлых условиях // Упрочняющие технологии и покрытия. 2012. №12. С.3-11.

5. Промптов А.И., Лившиц О.П., Замашиков Ю.И., Макаров Р.В. Рекомендации по выбору режимов резания финишных операций точения, растачивания, торцевого фрезерования инструментом, оснащённым твёрдым сплавом, керамикой и композитом. Учеб. пособие. Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2000. 104 с.
6. Deederich N. Metallischer Zwischeuschichten im Bereich der Aufbanschneidesbildung. Ind. -Anz., 1968, 90, N24, с.457-460.
7. 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.
8. 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. Mokritsky BYa, Skripilyov AA. Control of milling of high-hardness workpieces. Vestnik Mashinostroeniya. 2022;12:72-75. DOI: 10.36652/0042-4633-2022-12-72-75.
2. Mokritskiy BYa, Mokritskaya EB. Blade processing of hardened materials. Processing of workpieces hardened by high-hardness surfacing. Strengthening Technologies and Coatings. 2021;17(11):495-497. Doi: 10.36652/1813-1336-2021-17-11-495-497.
3. Kirichek AV, Lazutkin AG, Solovyov DL. Static and pulse processing and equipment for its implementation. STIN. 1999;6:20-24.
4. Vereshchaka AA, Vereshchaka AS, Grigoriev SN. Multilayer composite nano-structured coatings of cutting tools operating in harsh conditions. Strengthening Technologies and Coatings. 2012;12:3-11.

5. Promptov AI, Livshits OP, Zamashchikov YuI, Makarov RV. Recommendations on selecting cutting modes for finishing operations of turning, boring, and end milling with a tool equipped with a hard alloy, ceramics, and composite: textbook. Irkutsk: Publishing house of IrGTU; 2000.
6. Deederich N. Metallischer zwischeuschichten im bereich der aufbanschneidesbildung. Ind. -Anz.1968;90(24)457-460.
7. Fuch M, Scheffer M. Ab initio pseudopotentials for electronic structure calculations of polu-atomic systems using density-finctional theory. Comp. Phys. Commun. 1999;119:67-11.
8. Schneider IM. Effect of transition metal additives on electronic structure and elastic properties of TiAl and Ti3Al. Phys. Rev. B 74, 174110, 2006.

## Информация об авторах:

**Мокрицкий Борис Яковлевич** – доктор технических наук, профессор, профессор-консультант Комсомольского-на-Амуре государственного университета, тел. +7 (963) 829-05-66.

**Скрипилёв Александр Александрович** – кандидат технических наук, доцент Комсомольского-на-

Амуре государственного университета, тел. +7 (4217) 52-84-75.

**Сысоев Олег Евгеньевич** – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Строительство и архитектура» Комсомольского-на-Амуре государственного университета, тел. +7 (4217) 52-84-41.

**Mokritsky Boris Yakovlevich** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Consulting Professor at Komsomolsk-on-Amur State University; phone: +7 (963) 829-05-66.

**Skripilyov Aleksandr Aleksandrovich** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at Komsom-

olsk-on-Amur State University; phone: +7 (4217) 52-84-75.

**Sysoev Oleg Evgenyevich** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Construction and Architecture at Komsomolsk-on-Amur State University; phone: +7 (4217) 52-84-41.

**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 21.07.2025; одобрена после рецензирования 01.08.2025; принята к публикации 28.08.2025. Рецензент – Петрешин Д.И., доктор технических наук, доцент Брянского государственного технического университета, член редсовета журнала «Транспортное машиностроение».

The article was submitted to the editorial office on 21.07.2025; approved after review on 01.08.2025; accepted for publication on 28.08.2025. The reviewer is Petreshin D.I., Doctor of Technical Sciences, Associate Professor at Bryansk State Technical University, member of the Editorial Council of the journal *Transport Engineering*.