

Научная статья

Статья в открытом доступе

УДК 621.9

doi: 10.30987/2782-5957-2025-11-22-28

ОБЛАСТЬ РАЦИОНАЛЬНОГО ПРИМЕНЕНИЯ СБОРНОЙ ФРЕЗЫ ФИРМЫ СКИФ-М ПРИ ОБРАБОТКЕ ЗАГОТОВОК ДЕТАЛЕЙ, ИМЕЮЩИХ ВЫСОКОТВЁРДЫЙ СЛОЙ

**Борис Яковлевич Мокрицкий^{1✉}, Александр Витальевич Космынин², Александр
Александрович Скрипилёв³, Олег Евгеньевич Сысоев⁴**

^{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 avkosm@knastu.ru

³ Skripilev.aal@email.knastu.ru

⁴ 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 монолитными 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 либо 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, исследование, производство.

Ссылка для цитирования:

Мокрицкий Б.Я. Область рационального применения сборной фрезы фирмы скиф-м при обработке заготовок деталей, имеющих высокотвёрдый слой / Б.Я. Мокрицкий, А.В. Космынин, А.А. Скрипилев, О.В. Сысоев // Транспортное машиностроение. – 2025. - № 11. – С. 22-28. doi: 10.30987/2782-5957-2025-11-22-28.

Original article

Open Access Article

THE AREA OF RATIONAL APPLICATION OF SKIF-M INTERLOCKING SIDE MILL WHEN MACHINING WORKPIECES WITH A VERY HARD LAYER

**Boris Yakovlevich Mokritsky^{1✉}, Aleksandr Vitalyevich Kosmynin², Aleksandr
Aleksandrovich Skripilyov³, Oleg Evgenyevich Sysoev⁴**

^{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 avkosm@knastu.ru

³ Skripilev.aal@email.knastu.ru

⁴ fks@knastu.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5932-8893>

Abstract

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

The study results: the rational application of 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 defined. It is also found out that the most rational use of this 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 increasing the cutting speed, cutting depth, or feeding to the tooth is irrational.

Reference for citing:

Mokritskiy BYa, Kosmynin AV, Skripilev AA, Sysoev OV. The area of rational application of SKIF-M interlocking side mill when machining workpieces with a very hard layer. *Transport Engineering*. 2025;11:22-28. doi: 10.30987/2782-5957-2025-11-22-28.

Предисловие

Почему данная статья посвящена исследованию единственной модели фрезы? Потому, что фреза модели *MT110-025225R02S009-ИК-Т* разработана специально под сложные условия обработки. Сведений о ней нет в каталогах фирмы СКИФ-М. Она относится к группе концевых фрез для высокопроизводительной обработки плоскостей и уступов заготовок деталей, материал которых принято обозначать буквой Н, т.е. для закалённых сталей с группой обрабатываемости 38–40. Длина фрезы 150 мм, диаметр 25 мм, 2 зуба. Допускает фрезерование с глубиной резания не более 8 мм. Хвостовик фрезы цилиндрический типа *DIN 1835 А* с отверстиями для подвода смазывающе-охлаждающей жидкости (нами это не использовано). На зубьях фрезы установлены на штифтах сменные поворотные квадратные твёрдосплавные пластины модели *SONW09T308EN*. Длина стороны пластины 9,5 мм, толщина 3,9 мм, радиус при вершине 0,8 мм, диаметр отверстия под штифт 4 мм. Пластины по всем сторонам имеют задний угол.

Введение

Ряд областей народного хозяйства нуждаются [1, 2] в деталях, материал которых имеет существенный градиент твёрдости от сердцевины материала (твёрдость на уровне HRC 40) к ее наружному высоко-

Conclusions:

1. The goal was achieved by experimentally examining the mill operability according to the wear resistance period of 0.5 mm under different operating conditions.

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

The novelty of the work: the areas of rational use of a special SKIF-M mill for machining surfacing of HRC 65 and more have been established.

Keywords: surfacing, machining, operation, mill, research, production.

В статье рассматривается обработка такой фрезой высокотвёрдого слоя заготовки детали, твёрдость составляет HRC 60 и выше. Общепринято для фрезерования заготовок деталей, материал которых имеет такую высокую твёрдость, применять монолитные концевые твёрдосплавные фрезы. Их стоимость на порядок выше указанной фрезы *MT110-025225R02S009-ИК-Т*. Скол зуба твёрдосплавной монолитной фрезы обычно исключает её дальнейшее применение. При сколе вершины режущей кромки сменной пластины у фрезы *MT110-025225R02S009-ИК-Т* достаточно повернуть пластину на штифте в следующее рабочее положение или, в крайнем случае, заменить эту пластину на новую. Это отражает экономические вопросы применения рассматриваемой фрезы. Для сведения:

а) Монолитная фреза в среднем стоит 30 000 рублей.

б) режущая пластина фрезы *MT110-025225R02S009-ИК-Т* стоит 70 рублей.

твёрдому слою (твёрдость HRC 60 и выше).

Доказано [1, 2], что срок эксплуатации деталей, имеющих такой диапазон изменения твёрдости, возрастает в разы.

Вместе с тем, обработка высокотвёрдого слоя на заготовках деталей требует соответствующего металлорежущего инструмента. В данной статье приведены результаты фрезерования такого высокотвёрдого слоя сборной фрезой модели *MT110-025225R02S009-ИК-Т* производства СКИФ-М (г. Белгород). Это фреза диаметром 25 мм с двумя зубьями, на которых закреплены квадратные твёрдосплавные

Методология исследования

В основу методологии исследования положено экспериментальное исследование. Контролируемым параметром принят период стойкости режущих пластин до достижения износа 0,5 мм.

При таком подходе цель работы свелась к экспериментальному исследованию работоспособности фрезы по периоду стойкости режущих пластин при каждом их положении.

Особенность методики состояла в том, что при экспериментах использовались заготовки деталей, на которых высокотвёрдый слой имел ограниченную толщину и протяженность. Толщина такого слоя составляла 10 мм. Слой располагался на заготовке детали длиной 1030 мм. Ширина такого слоя составляла 80 мм. Это позволяло обработать высокотвёрдый слой при постоянной глубине резания трижды, т.е. в виде трёх дорожек, а именно обработать фрезой диаметром 25 мм одну дорожку на длину 1030 мм, сместить стол станка с заготовкой в поперечном направлении на 25 мм, обработать вторую дорожку и затем третью дорожку. Направление продольного перемещения стола станка изменяли для реализации условий встречного и попутного фрезерования. Так повторяли при глубине резания 1,0 мм, 1,5 мм, 2,0 мм, 2,5 мм. Толщина высокотвёрдого слоя 10 мм позволяла фрезеровать такие дорожки многократно. При каждой из глубин резания использовали ресурс режущих сменных пластин следующим образом. После достижения предельной допустимой величины износа режущих пластин в одном из их положений, пластины все поворачивали вокруг своей оси на корпусе фрезы и осу-

щественно режущие пластины, которые можно поворачивать вокруг своей оси.

Целью работы является выявление рациональной области применения указанной сборной двузубой фрезы при обработке высокотвёрдого слоя заготовки детали.

Аналогичные исследования выполнены в работах [3, 4], но в них рассмотрены фрезы других конструкций.

Исследования осуществляли резание. Таким образом, поочередно вели обработку каждой из сторон режущих пластин. Фреза использовалась двузубая, поэтому две режущие пластины работали поочередно четырьмя своими сторонами.

При нанесении высокотвёрдых слоёв использована наплавочная порошковая проволока марки ПП-АН167, изготовленная по техническим условиям ТУ У28.7-2149243-021.2008. Нанесение наплавки осуществлялось в следующих условиях. Используемое оборудование:

1. Установка дуговой сварки модели *TST 350*, дополненная сварочным полуавтоматом модели ПДГО – 527-4А (производитель ООО ПКФ «Кристалл», диаметр проволоки – 1,8 мм, напряжение – 36 вольт, ток – 220...240 ампер).

2. Экспериментальный стенд, включающий в себя трехкоординатный стол с числовым программным управлением (изготовитель ООО «СГ-проект» Россия), блок управления; компьютер с управляющей программой (*Mach3*). Принцип работы созданной установки следующий. В начале процесса создается цифровая модель траектории движения сварочной головки при помощи системы автоматизированного проектирования, при этом указываются направления, габариты и шаг движения. Далее на основе модели формируется управляющая программа на базе стандартных *G*-кодов, которая передается (загружается) в программу *Mach3*. На последнем этапе настраивались режимы наплавки (напряжение 36 вольт, ток 220...240 ампер). Наплавка производилась на обратной полярности.

Обсуждение полученных результатов

На рисунке показаны фото исследуемой фрезы и примеры высокотвёрдого слоя, наплавленного на заготовку детали.

Фрезерование производилось без применения смазывающе-охлаждающих технологических сред, при одинаковой скорости резания (50...60 м/мин), при подаче на зуб фрезы 0,05 мм, при разных

глубинах резания. Контролировали величину износа режущих пластин по задней грани через фиксированное время работы. Для измерения величины износа использовали высокоточный мультисенсорный видеокамерный прибор модели *Micro Vu Sol 161*.



а)



б)



в)



г)

Рисунок. Фото фрезы (а – внешний вид, б – режущая часть фрезы) и фото заготовки детали с разным типом наплавленных высокотвёрдых слоёв: рис. 1в – разреженные слои, т.е. имеется расстояние между слоями; рис. г – сплошные слои, т.е. пример, когда наплавленные слои прилегают друг к другу без зазора.

Figure. Photos of the mill (a – appearance, b – mill cutting part) and photos of the workpiece with different types of built-up very hard layers: Fig. 1b – sparse layers, i.e. there is a distance between the layers; Fig. 1g – continuous layers, i.e. an example when built-up layers are adjacent to each other without a gap.

Ниже приведены результаты для случая обработки высокотвёрдого слоя, в котором нанесены сплошные слои, т.е. пример, когда наплавленные слои прилегают друг к другу без зазора, показан на рис. 1г.

Этот случай выбран как наиболее сложный при фрезеровании высокотвёрдого слоя.

Обобщённые результаты оценки работоспособности фрезы приведены в таблице.

Таблица

Период стойкости, мин, режущих пластин фрезы до достижения износа 0,5 мм при разных глубинах резания и разных положениях режущих пластин

Table

Durability period of (min) of the mill cutting plates until wear reaches 0,5 mm at different cutting depths and different positions of the cutting plates

Положение пластины/ Период стойкости					Примечания
Глубина резания 1,0 мм					
Режущая пластина № 1					
Положение пластины*	1	2	3	4	
Период стойкости	14	14	12	14	
Режущая пластина № 2					
Положение пластины*	1	2	3	4	
Период стойкости	14	14	14	14	
Глубина резания 1,5 мм					
Режущая пластина № 1					
Положение пластины*	1	2	3	4	
Период стойкости	11	9	10	11	
Режущая пластина № 2					
Положение пластины*	1	2	3	4	
Период стойкости	10	10	10	8	
Глубина резания 2,0 мм					
Режущая пластина № 1					
Положение пластины*	1	2	3	4	
Период стойкости	7	7	6	6	
Режущая пластина № 2					
Положение пластины*	1	2	3	4	
Период стойкости	7	6	6	6	
Глубина резания 2,5 мм					
Режущая пластина № 1					
Положение пластины*	1	2	3	4	
Период стойкости	3	4	2 ^C	3	Искрение и вибрации
Режущая пластина №2					
Положение пластины*	1	2	3	4	
Период стойкости	3	3	3	2 ^C	Искрение и вибрации

Примечания.

Термины «Режущая пластина № 1», «Режущая пластина № 2» относятся к комплекту пластин, используемых в текущий момент (фреза имеет два зуба, две режущих пластины).

*После достижения износа 0,5 мм режущую пластину поворачивали в корпусе фрезы вокруг своей оси и продолжали фрезерование следующей кромкой режущей пластины.

**Увеличение глубины фрезерования производилось на участке высокотвёрдого слоя, который был только что обработан при предыдущей глубине резания. Это изменяло условия обработки, но этим пренебрегали.

^C – скол режущей кромки.

Данные, приведённые в таблице, позволяют сделать следующие выводы:

1. Определена область рационального применения указанной фрезы в зависимости от глубины резания при скорости резания 50...60 метров в минуту и подаче на зуб фрезы 0,05 мм. Допустима глубина резания не более 2 мм. Превышение этой глубины резания сопровождается искрением стружки и вибрациями станочной системы.

2. Смена положения режущих пластин не влияет существенно на их период стойкости. Это свидетельствует о высоком качестве режущих пластин.

3. При глубине резания 2,5 мм имели место сколы режущей кромки пластин.

4. Величина снижения периода стойкости режущих пластин примерно постоянна (на 3 минуты) при переходе с глубины резания 1,0 мм на 1,5 мм, при переходе с глубины резания 1,5 мм на 2,0 мм, при

переходе с глубины резания 2,0 мм на 2,5 мм. Это свидетельствует о слабом влиянии состояния обработанной поверхности на период стойкости режущих пластин.

Заключение

Исследование позволило выявить область рационального применения сборной фрезы *MT110-025225R02S009-IK-T* при обработке заготовок деталей, имеющих высокотвёрдый слой. Область выявлена по периоду стойкости сменных режущих пластин для скорости резания 50...60 метров в

Полученные результаты не противоречат результатам, изложенным в работах [5-8].

минуту, при подаче на зуб фрезы 0,05 мм, для примера, когда высокотвёрдые наплавленные слои прилегают друг к другу без зазора.

Установлено, что применение глубины резания более 2 мм нецелесообразно.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Киричек А.В., Соловьев Д.Л., Лазуткин А.Г. Технология и оборудование статико-импульсной обработки поверхностным пластическим деформированием: Библиотека технолога. М.: Машиностроение, 2004. 288 с.
2. Лазуткин А.Г., Киричек А.В., Степанов Ю.С., Соловьев Д.Л. Механика нагружения поверхности волной деформации // М.: Машиностроение, 2005. - 150 с.
3. Мокрицкий Б. Я., Шелковников В. Ю. Лезвийная обработка заготовок деталей, имеющих упрочнение наплавками высокой твердости. *Металлообработка*, 2021, № 2, с. 3–7. DOI 10.25960/mo.2021.2.3.
4. Мокрицкий Б. Я. Инструмент для фрезерования заготовок, имеющих наплавки высокой твердости. *Металлообработка*, 2021, № 5-6, с. 3–9. DOI 10.25960/mo.2021.5-6.3.

5. Grigoriev S., Vereschaka A., Milovich F., Tabakov V., Sitnikov N., Andreev N., Sviridova T., Bublikov J. Investigation of multicomponent nanolayer coatings based on nitrides of Cr, Mo, Zr, Nb and Al // *Surface and Coating Technology*. 2020. V.401. Art. No. 126258. DOI: 10.3390/coatings10121236.
6. Григорьев С.Н. Методы повышения стойкости режущего инструмента. Москва, Машиностроение, 2011. 368 с.
7. Huajie Chen, Aihui Zhou. Orbital-free Density Functional Theory for Molecular Structure Calculations. *Numerical Mathematics: Theory, Methods Applications*, 2008, 1, 1-28.
8. Механика деформирования и разрушения при резании / Б. В. Барбышев, У. С. Путилова, Р. Ю. Некрасов и др. ; под ред. М. Х. Утешева. — Том 1. Нестационарный процесс резания. Тюмень : ТюмГНГУ, 2012. 212 с.

REFERENCES

1. Kirichek AV, Solovyov DL, Lazutkin AG. Technology and equipment of static pulse treatment by surface plastic deformation: technologist's library. Moscow: Mashinostroenie; 2004.
2. Lazutkin AG, Kirichek AV, Stepanov YuS, Solovyov DL. Mechanics of surface loading by a deformation wave. Moscow: Mashinostroenie; 2005.
3. Mokritskii BYa, Shelkovnikov VYu. Blade machining of workpieces of the details, that have strengthening by high hardness surfacing. *Metalworking*. 2021;2:3-7. DOI 10.25960/mo.2021.2.3.
4. Mokritskiy BYa. A tool for milling workpieces with high hardness surfacing. *Metalworking*. 2021;5-6:3-9. DOI 10.25960/mo.2021.5-6.3.
5. Grigoriev S, Vereschaka A, Milovich F, Tabakov V, Sitnikov N, Andreev N, Sviridova T, Bublikov J.

- Investigation of multicomponent nanolayer coatings based on nitrides of Cr, Mo, Zr, Nb and Al. *Surface and Coating Technology*. 2020;401:Art.No.126258. DOI: 10.3390/coatings10121236.
6. Grigoriev SN. Methods of increasing the durability of cutting tools. Moscow: Mashinostroenie; 2011.
7. Huajie Ch, Aihui Zh. Orbital-free density functional theory for molecular structure calculations. *Numerical Mathematics: theory, methods applications*. 2008;1:1-28.
8. Barbyshev BV, Putilova US, Nekrasov RYu. Mechanics of deformation and fracture during cutting. Non-stationary cutting process. Tyumen: Tyumen State University; 2012.

Информация об авторах:

Мокрицкий Борис Яковлевич – доктор технических наук, профессор, профессор-консультант, Комсомольский-на-Амуре государственный уни-

верситет, ORCID: 0000-0003-4727-9873, тел. +7 (963) 829-05-66.

Космынин Александр Витальевич – доктор технических наук, профессор, и.о. проректора по научной работе, Комсомольский-на-Амуре государственный университет, тел. +7 (963) 829-05-16.
Скрипилёв Александр Александрович – кандидат технических наук, доцент, Комсомольский-на-

Амуре государственный университет, тел. +7 (4217) 52-84-75.

Сысоев Олег Евгеньевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Строительство и архитектура», Комсомольский-на-Амуре государственный университет, ORCID: 0000-0001-5932-8893, тел. +7 (4217) 52-84-41.

Mokritsky Boris Yakovlevich – Doctor of Technical Sciences, Professor, Consulting Professor, ORCID: 0000-0003-4727-9873, Komsomolsk-on-Amur State University, phone: +7 (963) 829-05-66.

Kosmyinin Aleksandr Vitalyevich – Doctor of Technical Sciences, Professor, Acting Vice-Rector for Research, Komsomolsk-on-Amur State University, phone: +7 (963) 829-05-16,

Skripilyov Aleksandr Aleksandrovich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Komsomolsk-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, Komsomolsk-on-Amur State University, ORCID: 0000-0001-5932-8893, 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 02.09.2025; одобрена после рецензирования 12.09.2025; принята к публикации 27.10.2025. Рецензент – Хандожко А.В., доктор технических наук, профессор кафедры «Металлорежущие станки и инструменты» Брянского государственного технического университета, главный редактор журнала «Транспортное машиностроение».

The article was submitted to the editorial office on 02.09.2025; approved after review on 12.09.2025; accepted for publication on 27.10.2025. The reviewer is Khandozhko A.V., Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Metal Cutting Machines and Tools at Bryansk State Technical University, Editor-in-Chief of the journal *Transport Engineering*.