

Мокрицкий Б. Я., Космынин А. В., Скрипилёв А. А., Сысоев О. Е.
B. Ya. Mokritskii, A. V. Kosmynin, A. A. Skripilev, O. E. Sysoyev

**ОБЛАСТИ РАЦИОНАЛЬНОГО ПРИМЕНЕНИЯ СБОРНЫХ ФРЕЗ РАЗНЫХ
ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ЗАГОТОВОК ДЕТАЛЕЙ, ИМЕЮЩИХ
ВЫСОКОТВЁРДЫЙ СЛОЙ**

**AREAS OF RATIONAL USE OF PREFABRICATED MILLING CUTTERS FROM DIFFERENT
MANUFACTURERS FOR PROCESSING BLANKS OF PARTS WITH A HIGH-HARDNESS
LAYER**

Мокрицкий Борис Яковлевич – доктор технических наук, профессор, профессор-консультант Комсомольского-на-Амуре государственного университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре); 681013, Хабаровский край, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27. E-mail: boris@knastu.ru.

Boris Ya. Mokritskii – Doctor of Engineering, Professor, Consulting Professor, Komsomolsk-na-Amure State University (Russia, Komsomolsk-on-Amur); 681013, Khabarovsk Region, Komsomolsk-on-Amur, 27, Lenin Ave. E-mail: boris@knastu.ru.

Космынин Александр Витальевич – доктор технических наук, профессор, проректор по научной работе Комсомольского-на-Амуре государственного университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре); 681013, Хабаровский край, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27. E-mail: avkosm@knastu.ru.

Aleksandr V. Kosmynin – Doctor of Engineering, Professor, Vice-Rector for Scientific Work, Komsomolsk-na-Amure State University (Russia, Komsomolsk-on-Amur); 681013, Khabarovsk Region, Komsomolsk-on-Amur, 27, Lenin Ave. E-mail: avkosm@knastu.ru.

Скрипилёв Александр Александрович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Электромеханика» Комсомольского-на-Амуре государственного университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре); 681013, Хабаровский край, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27. E-mail: Skripilev.aal@email.knastu.ru.

Aleksandr A. Skripilev – PhD in Engineering, Associate Professor, Electromechanics Department, Komsomolsk-na-Amure State University (Russia, Komsomolsk-on-Amur); 681013, Khabarovsk Region, Komsomolsk-on-Amur, 27, Lenin Ave. E-mail: Skripilev.aal@email.knastu.ru.

Сысоев Олег Евгеньевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Строительство и архитектура» Комсомольского-на-Амуре государственного университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре); 681013, Хабаровский край, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27. E-mail: susoev2023@mail.ru.

Oleg E. Sysoyev – Doctor of Engineering, Professor, Head of the Department «Construction and Architecture», Komsomolsk-na-Amure State University (Russia, Komsomolsk-on-Amur); 681013, Khabarovsk Region, Komsomolsk-on-Amur, 27, Lenin Ave. E-mail: susoev2023@mail.ru.

Аннотация. Ряд областей народного хозяйства нуждается в деталях изделий, материал которых имеет существенный градиент твёрдости от сердцевины материала (твёрдость на уровне HRC 40) к её наружному высокотвёрдому слою (твёрдость HRC 60 и выше). Необходимость обрабатывать фрезерованием высокотвёрдые слои ставит задачу поиска рациональных путей повышения работоспособности режущего инструмента. Обработка высокотвёрдого слоя на заготовках таких деталей требует соответствующего металлорежущего инструмента. В данной статье приведены результаты фрезерования такого высокотвёрдого слоя сборными фрезами разных производителей, а именно ООО СКИФ-М (Россия), Sandvik Coromant (Швеция), Mitsubishi (Япония).

Summary. A number of areas of the national economy require parts of products, the material of which has a significant hardness gradient from the core of the material (hardness at the HRC 40 level) to its outer high-hardness layer (hardness HRC 60 and higher). The need to process high-hardness layers by milling poses the task of finding rational ways to improve the efficiency of the cutting tool. The processing of a high-hardness layer on the workpieces of such parts requires an appropriate metal cutting tool. This article presents the results of milling such a high-hardness layer with prefabricated milling cutters from different manufacturers, namely LLC SKIF-M (Russia), Sandvik Coromant (Sweden), Mitsubishi (Japan).

Ключевые слова: фрезерование сборными фрезами, высокотвёрдый слой.

Key words: milling with prefabricated milling cutters, high-hardness layer.

УДК 621.9.2

Введение

Ряд областей народного хозяйства нуждается [1; 2] в деталях изделий, материал которых имеет существенный градиент твёрдости от сердцевины материала (твёрдость на уровне HRC 40) к её наружному высокотвёрдому слою (твёрдость HRC 60 и выше). Обработка высокотвёрдого слоя на заготовках деталей требует соответствующего металлорежущего инструмента. В данной статье приведены результаты фрезерования такого высокотвёрдого слоя сборными фрезами разных производителей.

Объекты и методы исследований

Объектом исследования являются указанные ниже фрезы трёх разных производителей, а именно их период стойкости в зависимости от условий эксплуатации.

Использован экспериментальный метод исследования, т. е. непосредственное фрезерование заготовок деталей, содержащих высокотвёрдый слой, и последующее измерение величины износа режущих пластин. Такой метод исследования типичен [3–6] для процессов резания.

Оценку качества обработанной поверхности не выполняли. Однако при предварительных настроечных испытаниях установили, что при превышении износа зубьев фрез более 0,5 мм параметры шероховатости Ra и Rz не удовлетворяли требованиям.

Особенность методики состояла в том, что при экспериментах использовались заготовки деталей, на которых высокотвёрдый слой имел ограниченную протяжённость. Он располагался на заготовке детали длиной 1030 мм. Ширина такого слоя составляла 80 мм. Это позволяло обработать высокотвёрдый слой при постоянной глубине в виде трёх дорожек, а именно обработать фрезой (например, диаметром 25 мм) одну дорожку на длину 1030 мм, сместить стол станка с заготовкой в поперечном направлении (на 26 мм), обработать вторую дорожку и затем третью дорожку. Направление продольного перемещения стола станка изменяли для встречного и попутного фрезерования [7; 8]. Так повторяли при глубине резания 1,0 мм, 1,5 мм, 2,0 мм, 2,5 мм и 3,0 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 все пластины поворачивали вокруг своей оси на корпусе фрезы и осуществляли резание. Таким образом поочерёдно вели обработку каждой из сторон режущих пластин.

Полученные результаты

На рис. 1, а показано фото российской сборной фрезы модели MT110-025225R02S009-IK-T. Разработчик фрезы и производитель ООО СКИФ-М (г. Белгород). Это фреза диаметром 25 мм с двумя зубьями, на которых закреплены квадратные твёрдосплавные типовые режущие пластины, которые можно поворачивать вокруг своей оси.

На рис. 1, б представлена шведская сборная фреза (головка) модели CoroMill R210 (внешний вид заимствован из интернета в связи с тем, что фото натуральной фрезы запрещено). Фреза имеет диаметр 30 мм, 6 зубьев с квадратными сменными режущими пластинами.

На рис. 1, в представлена японская сборная фреза (головка диаметром 30 мм) модели Wincat ICATPM 102020100 (внешний вид заимствован из интернета в связи с тем, что фото натуральной фрезы запрещено). Фреза имеет 5 зубьев с трёхгранными сменными режущими пластинами.

Указанные фрезы трёх разных производителей отличаются конструкцией, но их объединяет то, что они предназначены для фрезерования труднообрабатываемых материалов [9; 10].

При их испытаниях не ставилась задача выявить из них лучшую по тому или иному эксплуатационному параметру. Цель исследования состояла в том, чтобы для каждой из них выявить наиболее рациональные области применения по периоду стойкости режущих пластин при фрезе-

ровании высокотвёрдого слоя, наплавленного на поверхность заготовки детали. Внешний вид такого слоя представлен на рис. 2.

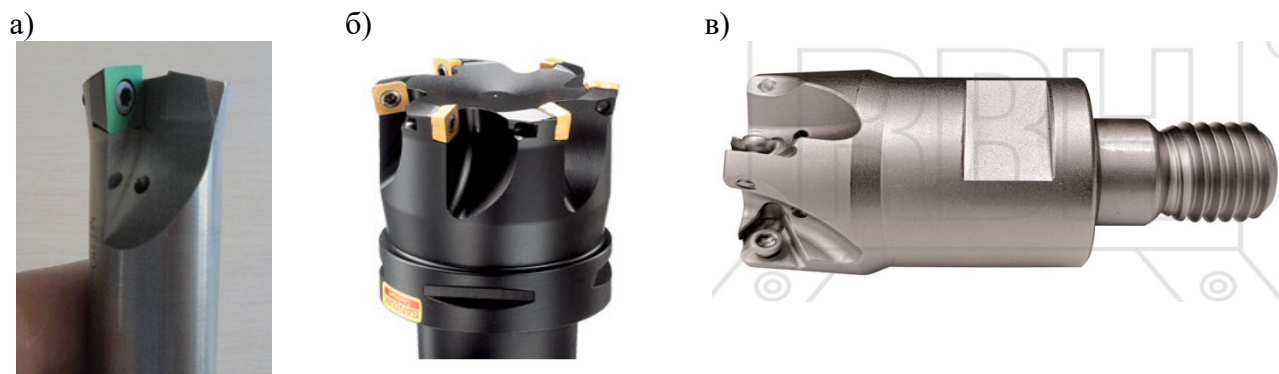


Рис. 1. Режущая часть отечественной фрезы модели MT110-025225R02S009-ИК-T фирмы СКИФ-М (а); фреза (сменная головка) CoroMill R210 шведской фирмы Sandvik Coromant (б) и фреза Wincstar ICATPM 102020100 японской фирмы Mitsubishi (в)

Высота наплавки составляла 10 мм, твёрдость HRC 68. При нанесении высокотвёрдых слоёв использована наплавочная порошковая проволока марки ПП-АН167, изготовленная по ТУ У28.7-2149243-021.2008. Для нанесения наплавки использовали установку дуговой сварки модели TST 350, дополненную сварочным полуавтоматом модели ПДГ0-527-4А (производитель ООО ПКФ «Кристалл», диаметр проволоки 1,8 мм, напряжение 36 В, ток 220...240 А).

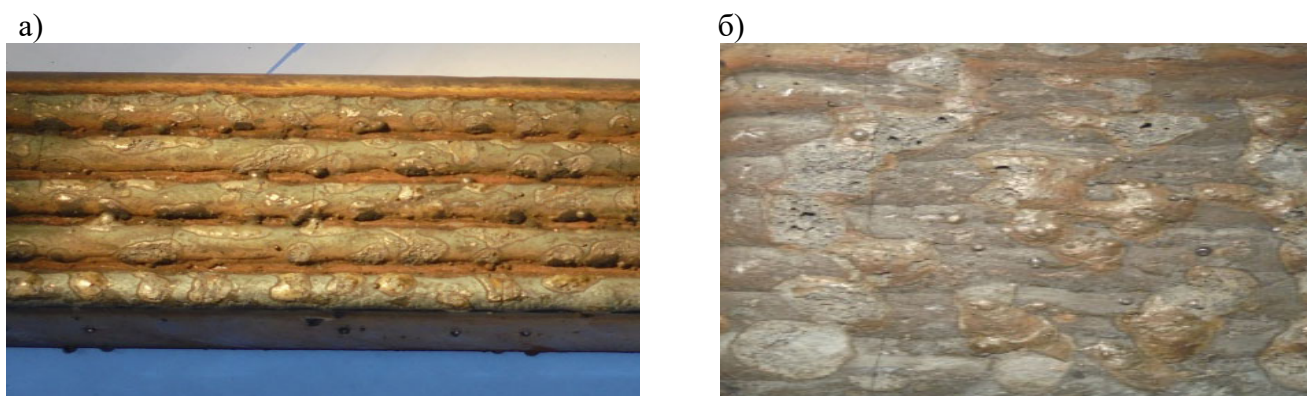


Рис. 2. Внешний вид разных вариантов высокотвёрдых слоёв (наплавки): а – с разрядкой, т. е. с расстоянием между рядами наплавки; б – сплошная наплавка

Фрезеровали при скорости резания 50 м/мин, при подаче на зуб фрезы 0,05 мм, при разных глубинах резания. Контролировали величину износа режущих пластин по задней поверхности. Для измерения величины износа использовали высокоточный мультисенсорный видеокамерный прибор модели Micro Vu Sol 161.

Обобщённые результаты оценки работоспособности исследуемых фрез приведены в табл. 1.

Данные, приведённые в табл. 1, позволяют сделать следующие выводы:

1. Применение исследуемых фрез рационально до глубины резания 2,5 мм. На этом интервале глубин резания период стойкости выше у фрезы фирмы Sandvik Coromant. Периоды стойкости у фрез СКИФ-М и Mitsubishi сопоставимы с незначительным превосходством СКИФ-М.

Из этого следует, что области рационального применения фрез СКИФ-М и Mitsubishi совпадают. Эти фрезы не следует применять при глубинах резания более 2,5 мм.

Таблица 1

Период стойкости режущих пластин фрез до достижения износа 0,5 мм при разных глубинах резания

Исследуемые фрезы	Период стойкости, мин	Примечания
Глубина резания 1,0 мм		
Фреза СКИФ-М	12	
Фреза фирмы Sandvik Coromant	14	
Фреза фирмы Mitsubishi	11	
Глубина резания* 1,5 мм		
Фреза СКИФ-М	10	
Фреза фирмы Sandvik Coromant	13	
Фреза фирмы Mitsubishi	9	
Глубина резания* 2,0 мм		
Фреза СКИФ-М	7	
Фреза фирмы Sandvik Coromant	9	
Фреза фирмы Mitsubishi	7	
Глубина резания* 2,5 мм		
Фреза СКИФ-М	4	Искрение и вибрации
Фреза фирмы Sandvik Coromant	6	
Фреза фирмы Mitsubishi	3	Искрение и вибрации
Глубина резания 3,0 мм		
Фреза СКИФ-М	скол пластин	
Фреза фирмы Sandvik Coromant	2	Искрение и вибрации
Фреза фирмы Mitsubishi	скол пластин	

Примечание:

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

2. В интервале глубин резания от 2,5 мм до 3,0 мм фреза фирмы Sandvik Coromant вне конкуренции, она превосходит по периоду стойкости остальные фрезы.

При глубине резания 3,0 мм фреза фирмы Sandvik Coromant ещё работоспособна, но период её стойкости мал, в связи с этим рациональной областью применения фрезы фирмы Sandvik Coromant следует считать фрезерование с глубиной резания от 1,0 мм до 3,0 мм.

Полученные результаты не противоречат результатам, изложенным в работах [11–17].

Заключение

Исследование позволило выявить области рационального применения для каждой из исследуемых фрез.

Периоды стойкости у фрез СКИФ-М и Mitsubishi сопоставимы с превосходством фрезы СКИФ-М. Их области рационального применения при глубине резания от 1,0 мм до 2,0 мм.

Область применения фрезы фирмы Sandvik Coromant более широкая – фрезерование с глубиной резания от 1,0 мм до 3,0 мм.

ЛИТЕРАТУРА

1. Киричек, А. В. Технология и оборудование статико-импульсной обработки поверхностным пластическим деформированием: библиотека технолога / А. В. Киричек, Д. Л. Соловьев, А. Г. Лазуткин. – М.: Машиностроение, 2004. – 288 с.
2. Механика нагружения поверхности волной деформации / А. Г. Лазуткин, А. В. Киричек, Ю. С. Степанов, Д. Л. Соловьев. – М.: Машиностроение, 2005. – 150 с.

3. Сариков, М. Ю. К вопросу исследования пробы при электроэрозионной обработке алюминиевых и титановых сплавов / М. Ю. Сариков, Д. А. Палкин, М. В. Минаков // Учёные записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. Науки о природе и технике. – 2020. – № I-1 (41). – С. 83-92.
4. Сариков, М. Ю. Исследование процессов в межэлектродном промежутке при электроэрозионной обработке алюминиевых и титановых сплавов / М. Ю. Сариков, У. Е. Решетник // Учёные записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. Науки о природе и технике. – 2019. – № III-1 (39). – С. 101-108.
5. Мокрицкий, Б. Я. Управление фрезерованием высокотвёрдых заготовок / Б. Я. Мокрицкий, А. А. Скрипилёв // Вестник машиностроения. – 2022. – № 12. – С. 72-75.
6. Пример диагностики технологической системы резания при фрезеровании материалов высокой твёрдости / Б. Я. Мокрицкий, А. В. Космынин, А. А. Скрипилёв, Т. Б. Ершова, П. А. Саблин // Контроль. Диагностика. – 2023. – Т. 26. – № 4. – С. 60-66.
7. Сотова, Е. С. Керамические режущие инструменты / Е. С. Сотова, А. А. Верещака, А. С. Верещака. – М.: Изд-во ФГБОУ ВПО МГТУ «СТАНКИН», 2013. – 148 с.
8. 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.
9. Vereschaka A. A., Grigoriev S. N., Naumov A. G., Sotova E. S., Kirilov A. K., Bublikov J. I. Nanoscale multi-layered composite coating – applications for com machining // In: Handbook of modern Coating Technologies: Applications and Development. Editors: Mahmood Aliofkhazraei Ali Nasaan Chipara Nadhira Bensaada Laidani Jeff Th.M/ De Hosson. Elsevier: 1st edition. 2021. ISBN:9780444632371.
10. Vereschaka A. A., Grigoriev S. N., Sitnikov N. N., Bataka A. Delamination and longitudinal cracking in multi-layered composite nano-structured coating and their influence on cutting tool life // Wear. 2017. Vol. 390-391. P.209-219. DOI: 10.1016/j.wear.2017.07.021.
11. Верещака, А. А. Многослойные композиционные наноструктурированные покрытия режущего инструмента, работающего в тяжёлых условиях / А. А. Верещака, А. С. Верещака, С. Н. Григорьев // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2012. – № 12. – С. 3-11.
12. Табаков, В. П. Использование многослойных покрытий для повышения работоспособности режущего инструмента, работающего в стеснённых условиях / В. П. Табаков, С. С. Порохин // Металлообработка. – 2010. – № 3. – С. 40-44.
13. Huajie Chen, Aihui Zhou. Orbital-free Density Functional Theory for Molecular Structure Calculations. Numerical Mathematics: Theory, Methods Applications, 2008, 1, 1-28.
14. Механика деформирования и разрушения при резании / Б. В. Барбышев, У. С. Путилова, Р. Ю. Некрасов и др.; под ред. М. Х. Утешева. – Т. I. Нестационарный процесс резания. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2012. – 212 с.
15. Wang N., Zhang G., Ren L., Pang W., Wang Y. Vision and sound fusion-based material removal rate monitoring for abrasive belt grinding using improved LightGBM algorithm. Journal of Manufacturing Processes. 2021. Vol. 66. P. 281-292.
16. Alexey A. Vereschaka, Vladislav Y. Vereshchagin, Nikolay N. Sitnikov, Gaik V. Oganyan, Anatoly Yu. Aksenenko, Boris J Mokritskii. Study of mechanism of failure and wear of multi-layered composite nano-structured coating based on system Ti-TiN-(ZrNbTi)N deposited on carbide substrates. Journal of Nano Research. Vol. 45 (2017) pp. 110-123.
17. Zhang, H. A process parameters optimization method of multi-pass dry milling for high efficiency, low energy and low carbon emissions / H. Zhang, Z. Deng, Y. Fu, L. Lv, C. Yan // J. Clean. Prod. 148 (2017) 174-184.