

УДК 621.9.02(07)

doi: 10.18698/0536-1044-2022-5-10-14

Фрезы для обработки высокотвердых материалов

Б.Я. Мокрицкий

Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Milling Cutters for Processing Highly Hard Materials

B.Ya. Mokritsky

Komsomolsk-on-Amur State Technical University

Лезвийная механическая обработка поверхностей заготовок, выполненных из материала высокой твердости, является сложным процессом. Преимущественно применяют твердосплавные монолитные концевые фрезы, номенклатура которых широка. Однако подобрать рациональную фрезу сложно, так как рекомендаций по ее выбору нет. Разработаны методика и рекомендации по выбору фрезы для обработки заготовок, материал поверхностного слоя которых имеет твердость HRC 65. Полученные результаты не решают проблему в целом, но позволяют аргументировано выбрать рациональную фрезу малого диаметра. В качестве критерия сравнения принят период стойкости фрез при равных условиях эксплуатации.

Ключевые слова: обработка высокотвердых материалов, период стойкости, концевые фрезы

Blade machining of workpiece surfaces for parts made of high hardness material is a complex process. Solid-carbide end mills are mainly used, the range of which is wide. However, it is difficult to choose a rational milling cutter, since there are no recommendations for choosing it. The article presents the methodology and recommendations developed for selecting a cutter for workpieces, the surface layer material of which has a hardness of HRC 65. The results obtained do not solve the problem as a whole, but allow a reasoned choice of an efficient cutter of a small diameter. As a comparison criterion, the period of cutter life under equal operating conditions was adopted.

Keywords: solid material processing, period of life, end mills

Оборонная, авиационная и космические отрасли промышленности заинтересованы в применении деталей, выполненных из материала высокой твердости. Сложности получения материалов, имеющих градиент твердости (основа имеет нормальную твердость, поверхностный слой должен иметь твердость более HRC 60), постепенно преодолеваются [1–3]. Трудности механической обработки заготовок с такой твердостью не преодолены.

Специфика эксплуатации деталей с таким градиентом твердости исключает применение шлифования. Ряд других требований ограничивает номенклатуру инструмента для обработки высокотвердых заготовок до концевых монолитных твердосплавных фрез (далее фре-

зы). Отечественные предприятия и зарубежные инструментальные фирмы выпускают достаточно широкую номенклатуру таких фрез. Они различаются по конструкции, материалу и рекомендуемым параметрам режима резания. Материал фрез и их покрытия обычно охраняются ноу-хау.

Безусловно, для конкретных условий можно разработать специальную конструкцию и материал фрезы, но это длительный процесс, который обычно не предусмотрен планом производства. Приходится решать задачу обработки таких заготовок здесь и сейчас. Решение ложится на технолога предприятия. Случайный или необоснованный выбор варианта такой фрезы не обеспечивает необходимой работоспособно-

сти инструмента и влечет за собой значительные затраты.

Цель работы — рассмотреть отдельные результаты исследования по выбору фрезы для обработки заготовок из высокотвердых материалов, которые могут быть использованы технологом как рекомендации и методика испытаний при иных условиях эксплуатации режущего инструмента.

Проведено экспериментальное исследование работоспособности отдельных моделей концевых монолитных твердосплавных фрез малого диаметра. Их работоспособность оценивали по периоду стойкости до затупления режущей кромки 0,5 мм. Предварительно выявили приемлемую скорость резания, она составила 50 м/мин. При большей скорости резания возникало искрение, что нежелательно. Меньшая скорость резания нерациональна с позиции производительности обработки.

Внешний вид двух фрез одного производителя (США) — трехзубой модели 44784 12.02R диаметром 12 мм и четырехзубой модели T73748QTA Z161A 10mm16c 50L0751RTA 4FL STUB Z-CARB диаметром 10 мм — показаны на рисунке.

Диаметр фрез сопоставим, число зубьев и геометрия режущей части различны. Меньший диаметр фрез не применяли из-за их малой жесткости (возникали вибрации). Результаты испытания фрез большего диаметра не приведены. У таких фрез существенно большее число зубьев и иная геометрия [4].

При испытаниях фрез, указанных на рисунке, изменяли глубину резания и подачу на зуб. Диапазон варьирования существенно расширить не удавалось вследствие низкой жесткости и прочности фрез. Это приводило к ухудшению шероховатости обработанной поверхности заготовки.

Результаты исследования — значения периода стойкости сравниваемых фрез при скорости резания 50 м/мин приведены в таблице.

Значения периода стойкости фрез при скорости резания 50 м/мин

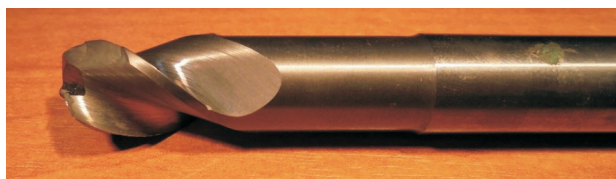
Модель фрезы	Глубина резания, мм	Подача на зуб, мм/зуб	Период стойкости, мин
44784 12.02R	0,5	0,3	12,0
		0,5	9,5
		0,8	8,0
	1,0	0,3	8,5
		0,5	7,0
		0,8	6,5
T73748QTA Z161A 10mm16c 50L0751RTA 4FL STUB Z-CARB	0,5	0,3	14,0
		0,5	10,0
		0,8	8,5
	1,0	0,3	9,0
		0,5	6,5
		0,8	4,0

Анализ данных таблицы показывает, что период стойкости сравниваемых фрез сопоставим, незначительное преимущество есть у модели 44784 12.02R. Очевидно, это объясняется благоприятной геометрией режущей части фрезы. Период стойкости определен как среднее значение по результатам испытания нескольких фрез.

Результаты исследования сопоставимы с данными [5–8], полученными при обработке материалов, имеющих меньшую твердость.

Результаты исследования можно использовать как рекомендации и методику испытаний. В качестве рекомендаций можно указать:

- выбор скорости резания более 50 м/мин нецелесообразен;
- повышение глубины резания с 0,5 до 1,0 мм приводит к снижению периода стойкости в 1,6 раза, что существенно;
- увеличение подачи с 0,3 до 0,8 мм/зуб вызывает уменьшение периода стойкости до 2 раз.



а



б

Внешний вид концевых монолитных твердосплавных фрез производства США:

а — трехзубой модели 44784 12.02R диаметром 12 мм;

б — четырехзубой модели T73748QTA Z161A 10mm16c 50L0751RTA 4FL STUB Z-CARB диаметром 10 мм

Выводы

1. Предложенная методика может быть использована технологами предприятий при решении подобных задач для разных условий эксплуатации фрез.

2. Сравнимые фрезы практически равноценны по периоду стойкости. Их период

стойкости невелик, но позволяет обрабатывать заготовки, выполненные из материала твердостью HRC 65.

3. Изложенные результаты не противоречат подходам и результатам, приведенным в работах [9–15].

Литература

- [1] Киричек А.В., Соловьев Д.Л., Лазуткин А.Г. *Технология и оборудование статикоимпульсной обработки поверхностным пластическим деформированием*. Москва, Машиностроение. 2004. 288 с.
- [2] Лазуткин А.Г., Киричек А.В., Степанов Ю.С., Соловьев Д.Л. *Механика нагружения поверхности волной деформации*. Москва, Машиностроение. 2005. 150 с.
- [3] Федонина С.О., Киричек А.В., Мокрицкий Б.Я. и др. Механическая обработка резанием деформационно-упрочненных наплавленных высоколегированных сплавов. *Упрочняющие технологии и покрытия*, 2019, т. 15, № 10, с. 448–450.
- [4] Мокрицкий Б.Я., Шелковников В.Ю. Лезвийная обработка заготовок деталей, имеющих упрочнение наплавками высокой твердости. *Металлообработка*, 2021, № 2, с. 3–7, doi: <https://doi.org/10.25960/mo.2021.2.3>
- [5] Верещака А.А. *Повышение износостойкости твердосплавных режущих инструментов путем управления параметрами функциональных слоев наноструктурированных покрытий*. Автореф. дисс. ... док. тех. наук. Москва, СТАНКИН. 2021. 36 с.
- [6] Верещака А.С., Дачаева А.В., Аникеев А.И. Повышение работоспособности режущего инструмента при обработке труднообрабатываемых материалов путем комплексного применения наноструктурированного износостойкого покрытия и твердого сплава оптимального состава. *Известия МГТУ МАМИ*, 2010, № 1, с. 99–106.
- [7] Григорьев С.Н. *Методы повышения стойкости режущего инструмента*. Москва, Машиностроение. 2011. 368 с.
- [8] Евдокимов Д.Е., Скуратов Д.Л., Федоров Д.Г. Влияние износа режущего инструмента на плотность распределения тепловых потоков при концевом фрезеровании титанового сплава ОТ4. *СТИН*, 2015, № 9, с. 26–29.
- [9] Елкин М.С. *Исследование влияния износостойких покрытий режущего инструмента на параметры качества обработанной поверхности при фрезеровании концевыми фрезами лопаток и моноколес*. Дисс. ... канд. тех. наук. Рыбинск, РГАТУ, 2015. 205 с.
- [10] Курочкин А.В. *Повышение работоспособности монолитных твердосплавных концевых фрез путем оптимизации архитектуры многослойных наноструктурированных износостойких покрытий*. Автореф. дисс. ... канд. тех. наук. Рыбинск, РГАТУ, 2012. 16 с.
- [11] Табаков В.П., Чихранов А.В. Повышение работоспособности твердосплавного инструмента путем направленного выбора рациональных параметров состава износостойкого покрытия. *СТИН*, 2016, № 3, с. 14–18.
- [12] Табаков В.П., Смирнов М.Ю., Циркин А.В. и др. Математическое описание процессов трещинообразования в износостойких покрытиях режущего инструмента. *Упрочняющие технологии и покрытия*, 2007, № 6, с. 48–51.
- [13] Dzieyk B. Fortschritte in der Zerspanungstechnik durch mehrlagige Hrtmetallbeschichtung. *Technisches Zentralblatt für praktische Metallbeschichtung*, 1994, vol. 68, no. 2–6, pp. 199–202.
- [14] Horlin H.A. TiC coated cemented carbides — their introduction and impact on metal cutting. *Prod. Eng.*, 1971, vol. 50, no. 4–5, pp. 153–159.
- [15] Odínokov V.I., Dmitriev E.A., Evstigneev A.I. Simulation of molten metal pouring into the continuous casting machine mold. *Mater. Today: Proc.*, 2019, vol. 19, no. 5, pp. 2274–2277, doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.07.596>

References

- [1] Kirichek A.V., Solov'yev D.L., Lazutkin A.G. *Tekhnologiya i oborudovanie statiko-impul'snoy obrabotki poverkhnostnym plasticheskim deformirovaniem* [Technology and equipment of static-pulse processing by surface plastic deformation]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2004. 288 p. (In Russ.).
- [2] Lazutkin A.G., Kirichek A.V., Stepanov Yu.S., Solov'yev D.L. *Mekhanika nagruzheniya poverkhnosti volnoy deformatsii* [Mechanics of surface loading by a deformation wave]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2005. 150 p. (In Russ.).
- [3] Fedonina S.O., Kirichek A.V., Mokritskiy B.Ya. et al. Mechanical machining of deformation-strengthened deposited high alloys. *Uprochnyayushchie tekhnologii i pokrytiya* [Strengthening Technologies and Coatings], 2019, vol. 15, no. 10, pp. 448–450. (In Russ.).
- [4] Mokritskiy B.Ya., Shelkovnikov V.Yu. Blade machining of workpieces of the details, that have strengthening by high-hardness surfacing. *Metalloobrabotka*, 2021, no. 2, pp. 3–7, doi: <https://doi.org/10.25960/mo.2021.2.3> (in Russ.).
- [5] Vereshchaka A.A. *Povyshenie iznosostoykosti tverdosplavnykh rezhushchikh instrumentov putem upravleniya parametrami funktsional'nykh sloev nanostrukturirovannykh pokrytiy*. Avtoref. diss. dok. tekhn. nauk [Raising wearability of carbide cutting tools by means of control on functional layers parameters of nanostructured coatings. Kand. tech. sci. diss.]. Moscow, STANKIN Publ., 2021. 36 p. (In Russ.).
- [6] Vereshchaka A.S., Dachayeva A.V., Anikeev A.I. Working capacity enhancement of cutting tools in terms of machining of difficult-to-cut materials by complex application of wear-resistant coating and hard alloy. *Izvestiya MGTU MAMI*, 2010, no. 1, pp. 99–106. (In Russ.).
- [7] Grigor'yev S.N. *Metody povysheniya stoykosti rezhushchego instrumenta* [Methods for improving durability of a cutting tool]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2011. 368 p. (In Russ.).
- [8] Evdokimov D.E., Skuratov D.L., Fedorov D.G. Influence of tool wear on the heat-flux distribution and temperature at the contact surfaces in the end milling of OT4 titanium alloy. *STIN*, 2015, no. 9, pp. 26–29. (In Russ.). (Eng. version: *Russ. Engin. Res.*, 2016, vol. 36, no. 4, pp. 324–327, doi: <https://doi.org/10.3103/S1068798X16040043>)
- [9] Elkin M.S. *Issledovanie vliyaniya iznosostoykikh pokrytiy rezhushchego instrumenta na parametry kachestva obrabotannoy poverkhnosti pri frezerovanii kontsevyimi frezami lopatok i monokoles*. Diss. kand. tekhn. nauk [Study on effect of wear-resistance coatings of cutting instrument on quality parameters of a processed surface at shaping by endmills of blades and blisks. Kand. tech. sci. diss.]. Rybinsk, RGATU Publ., 2015. 205 p. (In Russ.).
- [10] Kurochkin A.V. *Povyshenie rabotosposobnosti monolitnykh tverdosplavnykh kontsevykh frez putem optimizatsii arkhitektury mnogosloynnykh nanostrukturirovannykh iznosostoykikh pokrytiy*. Atoref. diss. ... kand. tekhn. nauk [Raising efficiency of monolithic carbide endmills by architecture optimization of multilayer nanostructured wear-resistance coatings. Kand. tech. sci. diss.]. Rybinsk, RGATU Publ., 2012. 16 p. (In Russ.).
- [11] Tabakov V.P., Chikhranov A.V. Raising working efficiency of carbide tools using directed choice of rational parameters for a wear-resistance coating composition. *STIN*, 2016, no. 3, pp. 14–18. (In Russ.).
- [12] Tabakov V.P., Smirnov M.Yu., Tsirkin A.V. et al. The mathematical description of cracking processes in wearproof coatings of the cutting tool. *Uprochnyayushchie tekhnologii i pokrytiya* [Strengthening Technologies and Coatings], 2007, no. 6, pp. 48–51. (In Russ.).
- [13] Dzieyk B. Fortschritte in der Zerspanungstechnik durch mehrlagige Hrtmetallbeschichtung. *Technisches Zentralblatt fur praktische Metallbeschichtung*, 1994, vol. 68, no. 2–6, pp. 199–202.
- [14] Horlin H.A. TiC coated cemented carbides — their introduction and impact on metal cutting. *Prod. Eng.*, 1971, vol. 50, no. 45, pp. 153–159.
- [15] Odinsonov V.I., Dmitriev E.A., Evstigneev A.I. Simulation of molten metal pouring into the continuous casting machine mold. *Mater. Today: Proc.*, 2019, vol. 19, no. 5, pp. 2274–2277, doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.07.596>

Информация об авторе

МОКРИЦКИЙ Борис Яковлевич — доктор технических наук, профессор кафедры «Машиностроение». Комсомольский-на-Амуре государственный университет (681024, Комсомольск-на-Амуре, Российская Федерация, ул. Ленина, д. 27, e-mail: boris@knastu.ru).

Information about the author

МОКРИТСКИЙ Boris Yakovlevich — Doctor of Science (Eng.), Professor, Department of Mechanical Engineering. Komsomolsk-on-Amur State Technical University (681024, Komsomolsk-on-Amur, Khabarovsk Territory, Russian Federation, Lenin Ave, Bldg. 27, e-mail: boris@knastu.ru).

Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:

Мокрицкий Б.Я. Фрезы для обработки высокотвердых материалов. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*, 2022, № 5, с. 10–14, doi: 10.18698/0536-1044-2022-5-10-14

Please cite this article in English as:

Mokritsky B.Ya. Milling Cutters for Processing Highly Hard Materials. *BMSTU Journal of Mechanical Engineering*, 2022, no. 5, pp. 10–14, doi: 10.18698/0536-1044-2022-5-10-14



Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана предлагает читателям монографию

«Технология производства малотоннажных судов из композиционных материалов»

Авторы: В.А. Нелюб, М.Э. Францев, А.С. Бородулин

Изложены основные сведения о конструкторско-технологических решениях, особенностях проектирования, производства и диагностики состояния композитных конструкций малотоннажных судов. Приведены физико-механические характеристики и показаны перспективы применения полимерно-волоконистых композитных материалов на основе стеклянных и углеродных наполнителей, полиэфирных и эпоксидных связующих при производстве корпуса и надстройки судовых конструкций. Рассмотрены технологические методы и рекомендованы рациональные технологические процессы изготовления композиционных элементов судовых конструкций. Изложены технологические методы и средства неразрушающего контроля композиционных конструкций малотоннажных судов.

Для специалистов в области производства и эксплуатации композиционных конструкций малотоннажных судов, а также аспирантов технических вузов.

По вопросам приобретения обращайтесь:

105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1.
Тел.: +7 499 263-60-45, факс: +7 499 261-45-97;
press@baumanpress.ru; <https://bmstu.press>