

## СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 621.9

### Особенности фрезерования полимерных композиционных материалов

А.С. Янюшкин<sup>1,а</sup>, Д.А. Рычков<sup>1,б</sup>, Д.В. Лобанов<sup>1,с</sup>, Е.В. Ткаченко<sup>2,д</sup>, Н.А. Ткаченко<sup>2,е</sup>

<sup>1</sup>Братский государственный университет, ул. Макаренко 40, Братск, Россия

<sup>2</sup>Донбасская государственная машиностроительная академия, ул. Шкадинова 72, Краматорск, Украина

<sup>а</sup>yanyushkin@brstu.ru, <sup>б</sup>dielektrik84@mail.ru, <sup>с</sup>mf\_nauka@brstu.ru, <sup>д</sup>jane.mishura@inbox.ru, <sup>е</sup>nit.tkachenko@mail.ru

Статья поступила 04.02.2013, принята 14.05.2013

*В статье представлены исследования работоспособности режущего инструмента при фрезеровании полимерных композиционных материалов, обладающих слоистой структурой с высокой твердостью наполнителя, упругими свойствами и прочностными характеристиками, что затрудняет их обработку с соблюдением качества поверхности и производительности. Проведенные исследования показывают, что работоспособность инструмента зависит от режимов резания, геометрии инструмента и применяемого инструментального материала. По результатам стойкостных испытаний получены математические зависимости периода стойкости режущих инструментов, оснащенных различными марками твердых сплавов, от режимов обработки, на основе которых построены графики, показывающие, что при увеличении подачи и глубины резания происходит резкое снижение работоспособности инструмента. Полученные теоретические и экспериментальные данные послужили основой для разработки рекомендаций при фрезеровании композиционных полимерных материалов по геометрии режущей части инструмента, назначению режимов резания и применению инструментальных материалов, обеспечивающих получение изделия с гарантированным качеством обработанной поверхности при высокой производительности обработки.*

**Ключевые слова:** композиционные материалы, качество поверхности, работоспособность инструмента, фреза для обработки композиционных материалов, период стойкости.

### Features of polymeric composite materials milling

A.S. Yanyushkin<sup>1,а</sup>, D.A. Rychkov<sup>1,б</sup>, D.V. Lobanov<sup>1,с</sup>, E.V. Tkachenko<sup>2,д</sup>, N.A. Tkachenko<sup>2,е</sup>

<sup>1</sup>Bratsk State University, 40 Makarenko st., Bratsk, Russia

<sup>2</sup>Donbass State Engineering Academy, 72 Shkadinova st., Kramatorsk, Ukraine

<sup>а</sup>yanyushkin@brstu.ru, <sup>б</sup>dielektrik84@mail.ru, <sup>с</sup>mf\_nauka@brstu.ru, <sup>д</sup>jane.mishura@inbox.ru, <sup>е</sup>nit.tkachenko@mail.ru

Received 04.02.2013, accepted 14.05.2013

*The article presents the research of the cutting tool working capacity at milling the polymeric composite materials possessing layered structure with high hardness of a strengthening component, elastic properties and durability characteristics that hampers their processing with due regard to the surface finish and productivity. The conducted research shows that the tool working capacity depends on the cutting rates, tool geometry and the tool material applied. According to the results of wear resistance tests, mathematical dependences of the efficient life of cutting tools equipped with various carbide grades on the processing modes have been obtained. The graphs have been constructed demonstrating that an increase in cutting advance and depth results in a sharp decrease in the tool working capacity. The obtained theoretical and experimental data have provided the basis for working out the recommendations on milling the composite polymeric materials taking into account the tool cutting part geometry, the cutting modes purpose and the tool materials application that ensure obtaining an article with guaranteed quality of the processed surface at high processing efficiency.*

**Keywords:** composite materials, surface finish, tool operability, mill for composite materials handling, efficient life.

**Введение.** Развитие современной промышленности предполагает применение новых конструкционных материалов, обладающих высокими эксплуатационными показателями в сочетании со сниженной, по сравнению с традиционными материалами, массой и доступной стоимостью.

К ним относят композиционные материалы на полимерной основе, армированные стеклянными, углеродными, борными и органическими волокнами и тканями.

Они имеют высокую прочность и отличаются относительно малой плотностью. Широкое применение в различных отраслях промышленности находят изделия из полимеров, упрочненных стеклянными волокнами или тканями, например, стеклотекстолиты марок СТ, СТЭФ, СТЭБ и т. д., однако при механической обработке изделий из таких материалов возникают определенные трудности: режущий инструмент быстро изнашивается, что снижает качество обработанной поверхности, произво-

длительность обработки и увеличивает затраты производства. Это объясняется особенностями свойств композитов, отличных от свойств традиционных материалов, которые можно свести к следующим [1, 2, 3]:

- 1) ярко выраженная анизотропия свойств материалов;
- 2) относительная сложность получения высокого качества поверхности вследствие высоких прочностных характеристик композиционных материалов, а также из-за их слоистой структуры, что предполагает обработку острозаточенным инструментом, поскольку при его затуплении на обрабатываемой поверхности образуются дефекты;
- 3) высокая твердость наполнителя и его абразивное воздействие на режущий инструмент;
- 4) низкая теплопроводность композитов, которая существенно влияет на соотношение составляющих теплового баланса при резании;
- 5) деструкция полимерного связующего при резании, которая снижает поверхностную энергию металла и приводит к возникновению механохимического адсорбционного износа инструмента;
- 6) высокие упругие свойства композиционных материалов, что вызывает повышенный износ инструмента по задней поверхности из-за интенсивных контактных явлений.

В связи с этим проблема получения изделий из композиционных материалов с гарантированным качеством обработанной поверхности и высокой производительностью обработки является актуальной для современной промышленности.

**Методика проведения исследований.** Одним из распространенных видов механической обработки композиционных материалов является фрезерование. В связи с этим рассмотрим проблему улучшения качества обработки и увеличения производительности на примере совершенствования технологии фрезерования полимерных композиционных материалов за счет повышения работоспособности режущего инструмента.

Для проведения исследований в качестве инструментальных материалов выбраны вольфрамкобальтовые и безвольфрамовые твердые сплавы следующих марок: ВК15, ВК8, ВКЗМ, ТН20, поскольку они имеют высокую прочность, теплостойкость, твердость и рекомендуются для обработки высокопрочных композиционных материалов [1, 2].

Исследования работоспособности режущего инструмента в различных условиях проводились на операции фрезерования стеклотекстолита СТЭФ-1. При его изготовлении используется мелкоячеистая стеклоткань, что позволяет получать детали мелких размеров, а стоимость СТЭФ-1 ниже, чем у аналогичных марок стеклотекстолита, при тех же значениях прочностных характеристик. Кроме того, такие материалы рекомендованы ГОСТом для механической обработки.

В соответствии с рекомендациями, при обработке композиционных материалов рационально применять фрезерный инструмент, у которого угол заострения  $\beta = 50 \dots 60^\circ$ , передний угол  $\gamma = 20 \dots 30^\circ$  и задний угол  $\alpha = 10 \dots 20^\circ$  [1, 2, 3]. В данной работе исследования проводились с использованием фрезы с углом заострения  $\beta = 53^\circ$ , передним углом  $\gamma = 25^\circ$  и задним углом  $\alpha = 12^\circ$ . Для повышения вариативности геометрических параметров инструмента и оснащения его различными мар-

ками инструментальных материалов возможно использование новых конструктивных решений инструментов [4, 5, 6].

Обработка стеклотекстолита СТЭФ-1 проводилась на экспериментальном стенде на базе станка модели 3Д642Е, дополнительно оснащенного гидроприводом для автоматизации движения подачи, со специальной оснасткой для базирования заготовки, вытяжным устройством для удаления пыли и стружки и модернизированным в направлении увеличения скорости резания приводом главного движения.

Осуществлялось встречное фрезерование стеклотекстолита с варьированием режимов резания: глубина резания  $t = 0,5 \dots 1,5$  мм, подача на зуб  $S_z = 0,167 \dots 0,33$  мм/зуб, скорость резания  $V = 46 \dots 48$  м/с. Диапазоны варьирования выбраны в соответствии с результатами предварительных исследований и рекомендаций по обработке композиционных материалов [1, 4].

При исследовании работоспособности инструмента за критерий технологической стойкости режущего инструмента принята ширина фаски износа по задней поверхности  $h_z = 0,35$  мм, дальнейшее увеличение которой ведет к ухудшению качества обработанной поверхности и росту мощности резания. Износ фиксировался с использованием оптической микроскопии через определенные промежутки времени. Для исследования состояния обработанной поверхности применялся растровый электронный микроскоп *Carl Zeiss EVO50* с максимальным разрешением 3 нм и ускоряющим напряжением 0,2...30 кВ. Для растровой электронной микроскопии на поверхность образцов нанесен слой токопроводящего материала (*Au*) с помощью напылительной установки *Q150TES*.

**Результаты исследования качества обработанной поверхности композита и стойкостных испытаний режущего инструмента.** Уже на начальных этапах исследований стойкости инструмент, оснащенный твердым сплавом марки ТН20, показал невысокие результаты, в связи с чем в дальнейших исследованиях не использовался.

Анализ качества обработки композиционных материалов инструментом, оснащенным твердыми сплавами, показывает, что при увеличении подачи ( $S_z$ ) и глубины резания ( $t$ ) начинается интенсивное расслоение композиционного материала, разрушается связка, и волокна упрочнителя вырываются с поверхности под действием высоких нагрузок, возникающих при встречном фрезеровании.

Для выявления рациональных, с точки зрения работоспособности инструмента, режимов резания были проведены стойкостные испытания фрез с использованием центрального композиционного ротатбельного планирования второго порядка. По результатам получены математические зависимости периода технологической стойкости инструмента от величины подачи на зуб  $S_z$  и глубины резания  $t$  при максимально допустимой оборудованной скорости резания:

Для ВК8:

$$T = 0,82 \cdot S_z^{4,75+2,94 \ln S_z + 2,38 \ln t} \cdot t^{0,46+1,13 \ln t}, \text{ мин.}$$

Для ВК15:

$$T = 0,66 \cdot S_z^{2,08+1,11 \ln S_z + 3,02 \ln t} \cdot t^{2,54+0,65 \ln t}, \text{ мин.}$$

Для ВК3М:

$$T = 0,64 \cdot S_z^{3,49+2,42 \ln S_z + 3,44 \ln t} \cdot t^{2,05+1,04 \ln t}, \text{ мин.}$$

Для оценки влияния факторов на величину периода стойкости инструментов, оснащенных различными марками твердых сплавов, рассмотрим частные случаи, когда один из факторов является постоянным (рис. 1, 2).

Оснащение режущего инструмента твердым сплавом ВК15 приводит к низкой работоспособности фрезы при обработке композиционного материала СТЭФ-1. При  $S_z = 0,167$  мм/зуб и  $t = 0,5$  мм период стойкости составляет около 10 минут.

При обработке композита СТЭФ-1 инструментом, оснащенный твердым сплавом ВК8 с режимами:  $S_z = 0,167$  мм/зуб и  $t = 0,5$  мм, период стойкости режущего инструмента составил порядка 50 минут.

Обработка инструментом, оснащенный твердым сплавом ВК3М, при  $S_z = 0,167$  мм/зуб и  $t = 0,5$  мм показывает лучший результат по сравнению с другими материалами. Период стойкости в этих условиях составил порядка 76 минут.

Увеличение подачи  $S_z$  и глубины резания  $t$  приводит к резкому снижению работоспособности режущего инструмента, даже при оснащении твердыми сплавами ВК3М и ВК8.

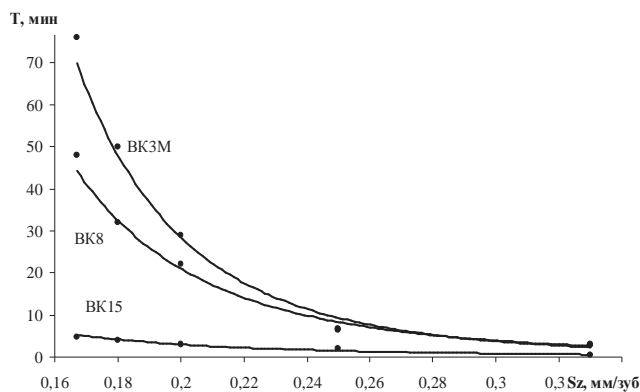


Рис. 1. Зависимость периода стойкости фрез от величины подачи на зуб при  $t = 0,5$  мм

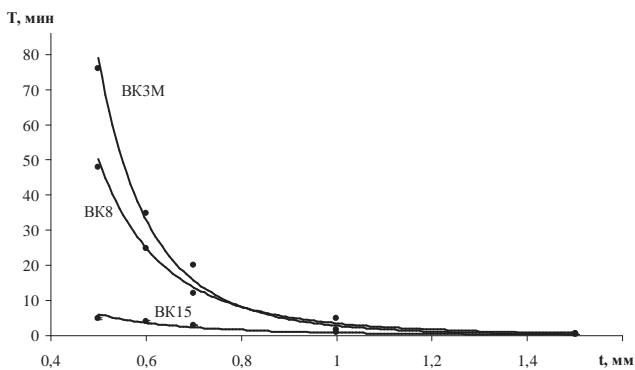


Рис. 2. Зависимость периода стойкости фрез от глубины резания при  $S_z = 0,167$  мм/зуб

**Заключение.** Таким образом, по результатам проведенных исследований для получения гарантирован-

ного качества обработанной поверхности полимерных композиционных материалов и высокой производительности обработки рекомендуется следующее.

1. Геометрические характеристики инструмента устанавливать в следующих пределах: передний угол  $\gamma = 20...25^\circ$ ; задний угол  $\alpha = 10...12^\circ$ ; угол заострения  $\beta = 55...60^\circ$ .

2. Подачу на зуб и глубину резания устанавливать в следующих пределах:  $S_z = 0,15...0,17$  мм/зуб;  $t = 0,5...0,6$  мм, скорость резания – максимально допустимая технологическими возможностями оборудования.

3. Инструмент оснащать твердым сплавом марки ВК3М, либо марки ВК8.

Результаты полученных исследований могут быть использованы на предприятиях, занимающихся изготовлением продукции из композиционных материалов, что расширит область применения таких материалов, позволит повысить производительность обработки и качество выпускаемой продукции.

### Литература

1. Лобанов Д.В., Янюшкин А.С. Подготовка режущего инструмента для обработки композиционных материалов: моногр. Братск: Брат. ун-т, 2011. 192 с.
2. Лобанов Д.В., Янюшкин А.С. Технология инструментального обеспечения производства изделий из композиционных неметаллических материалов: моногр. Старый Оскол: ГНТ, 2012. 296 с.
3. Рычков Д.А., Янюшкин А.С., Лобанов Д.В., Базаркина В.В. Совершенствование технологии формообразования высокопрочных стекловолоконистых композиционных материалов на полимерной основе: обработка металлов: технология, оборудование, инструменты, 2012. № 3. С. 150 – 153.
4. Лобанов Д.В., Янюшкин А.С., Рычков Д.А. Оптимизация выбора режущего инструмента на основе методов сравнительного анализа // фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии, 2010. № 5-2. С. 23 – 31.
5. Янюшкин А.С., Лобанов Д.В. Сборная фреза для деревообработки: пат. 2228261. Рос. Федерация. № 2002117387/022002117387/02; заявл. 28.06.02.
6. Янюшкин А.С., Лобанов Д.В., Кузнецов А.М. Сборная фреза для деревообработки: пат. 2257289. Рос. Федерация. заявл. 27.07.05; опубл. 30.03.04.
7. Янюшкин А.С., Шоркин В.С. Контактные процессы при электролизном шлифовании: моногр. М.: Машиностроение, 2004. 230 с.

### References

1. Lobanov D.V., Yanyushkin A.S. Preparation of the cutting tool for composite materials processing: monogr. Bratsk: Brat. Un-t, 2011. 192 s.
2. Lobanov D.V., Yanyushkin A.S. Tooling backup technology for manufacturing products from composite nonmetallic materials: monogr. Stary Oskol: TNT, 2012. 296 s.
3. Rychkov D.A., Yanyushkin A.S., Lobanov D.V., Bazarkina V.V. Improving the shaping technology for high-strength glass-fiber composite materials on a polymeric basis: metals processing: technology, equipment, tools, 2012. № 3. S. 150 – 153.
4. Lobanov D.V., Yanyushkin A.S., Rychkov D.A. Optimization of the cutting tool choice based on the comparative analysis methods: the fundamental and applied problems of techniques and technology, 2010. № 5-2. S. 23 – 31.
5. Yanyushkin A.S., Lobanov D.V. Interlocking side mill for wood processing: pat. 2228261. Ros. Federatsiya. № 2002117387/022002117387/02; yayavl. 28.06.2002.
6. Yanyushkin A.S., Lobanov D.V., Kuznetsov A.M. Interlocking side mill for wood processing: pat. 2257289. Ros. Federatsiya. yayavl. 27.07.05; opubl. 30.03.04.
7. Yanyushkin A.S., Shorkin V.S. Contact processes under electrolysis grinding: monogr. M.: Mashinostroeniye, 2004. 230 s.