

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ВЫСОКОПРОЧНЫХ СТЕКЛОВОЛОКНИСТЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ПОЛИМЕРНОЙ ОСНОВЕ*

Д.А. РЫЧКОВ, аспирант

А.С. ЯНЮШКИН, доктор техн. наук, профессор

Д.В. ЛОБАНОВ, кандидат техн. наук, доцент

(БрГУ, г. Братск)

В.В. БАЗАРКИНА, аспирант

(НГТУ, г. Новосибирск)

Статья поступила 5 сентября 2012 года

Янюшкин А.С. – 665709, г. Братск, ул. Макаренко, 40,
ФГБОУ ВПО «Братский государственный университет», e-mail: yanyushkin@brstu.ru

Рассматривается влияние режимов резания и конструктивных особенностей режущего инструмента на его работоспособность и качество обработанной поверхности при фрезеровании стекловолоконных композиционных материалов.

Ключевые слова: режущий инструмент, стекловолоконные композиционные материалы, работоспособность режущего инструмента, фрезерование.

Развитие современной промышленности предполагает применение новых конструкционных материалов, обладающих высокой прочностью, водостойкостью и химической стойкостью в сочетании с невысокой стоимостью. Выполнить эти требования возможно, применяя композиционные материалы, которые способны работать в агрессивных средах, обладают невысокой массой и высокими прочностными свойствами. В настоящее время освоен выпуск широкой номенклатуры изделий из композиционных материалов, предполагающих обработку резанием.

При механической обработке таких материалов возникают трудности, связанные с наличием у них слоистой структуры, высокой твердости наполнителя и его абразивного воздействия на инструмент, а также низкой теплопроводности. Кроме того, особенности структуры и физико-механических свойств композитов оказывают негативное влияние на качественные параметры получаемой поверхности при обработке резанием [1]. Достижение гарантированного качества обработанной поверхности композитов во многом зависит от применяемого режущего инструмента, режущая часть которого должна быть остро заточенной и иметь достаточно высокую прочность для осуществления резания.

В связи с этим актуальной является проблема изготовления инструмента, режущая часть которого обладает высокой износостойкостью, и проблема выбора рациональных режимов резания, обеспечивающих получение обработанной поверхности гарантированного качества [2, 3, 4].

Наиболее распространенными композиционными материалами, широко применяемыми в различных отраслях производства, являются стеклопластики и стеклотекстолиты.

Специфика их обработки предполагает использование режущих инструментов, конструктивные характеристики которых имеют ряд особенностей: увеличенные передний γ и задний α углы резания, применение сборных конструкций инструментов, оснащенных твердыми сплавами, схема крепления режущих элементов в корпусе инструмента, обеспечивающая безопасность работы на высоких скоростях резания [1, 2].

В связи с этим цель работы – совершенствование технологии фрезерования композиционных стекловолоконных материалов на полимерной основе.

Для достижения поставленной цели были определены следующие задачи: исследовать влияние режимов резания на работоспособность режущего

* Работа выполнена в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы, соглашение № 14.В37.21.0253.

инструмента и качество обработанной поверхности композиционных стеклотекстолитовых материалов с целью установления рациональных параметров фрезерования; разработать рекомендации по назначению режимов резания при фрезеровании композиционных стекловолнистых материалов на полимерной основе.

Влияние материала режущей части и режимов резания на работоспособность инструмента и качество обработанной поверхности определено на примере фрезерования композиционного материала СТЭФ-1 (стеклотекстолит). Согласно рекомендациям [2] при фрезеровании композиционных материалов получение качественной обработанной поверхности достигается при наличии переднего угла, равного $\gamma = 20 \dots 30^\circ$ и заднего угла, равного $\alpha = 10 \dots 20^\circ$.

Для определения влияния на работоспособность фрезерного инструмента и качество обработанной поверхности при обработке стеклотекстолита таких характеристик, как материал режущей части и режимы резания, был поставлен эксперимент на примере свободного цилиндрического фрезерования торца СТЭФ-1.

В качестве инструментальных материалов применялись твердые сплавы марок ВК15, ВК8 и ВК3М, поскольку они рекомендованы для обработки неметаллических материалов, имеют высокие прочностные характеристики и обладают более высокой износостойкостью при обработке композиционных материалов по сравнению с твердыми сплавами других групп [2].

В качестве факторов, оказывающих влияние на работоспособность инструмента и качество обработанной поверхности при фрезеровании стеклотекстолита, выбраны подача на зуб S_z и глубина резания t , величина которых варьировалась в следующих пределах: $S_z = 0,17 \dots 0,33$ мм/зуб, $t = 0,5 \dots 1,5$ мм. Пределы варьирования выбраны на основе рекомендаций [2] и результатов предварительных исследований. Варьирование скорости резания в данном исследовании не проводилось, поскольку при ее снижении ухудшается качество обработанной поверхности, а при повышении уменьшается период стойкости инструмента [2]. Таким образом, скорость резания составляет $V = 2750 \dots 2900$ м/мин, что соответствует частоте вращения шпинделя $n = 5840 \dots 6160$ об/мин при диаметре фрезы $D = 150$ мм. Обработка проводилась на заточном станке модели 3Д642Е, модернизированном под фрезерование композиционных материалов.

За критерий стойкости выбрана величина фаски износа по задней поверхности, равная $h_z = 0,35$ мм.

Для определения зависимости периода стойкости от режимных параметров были проведены экспериментальные исследования с использованием

центрального композиционного ротатбельного планирования второго порядка с уравнением регрессии степенного вида: $T = c S_z^\alpha t^\beta$.

По результатам лабораторных исследований получены математические зависимости периода стойкости фрезерного инструмента от подачи на зуб и глубины резания при обработке стеклотекстолита СТЭФ-1 для трех марок твердых сплавов:

$$\text{для ВК8: } T = 0,82 \cdot S_z^{4,75+2,94 \ln S_z + 2,38 \ln t} \cdot t^{0,46+1,13 \ln t}, \text{ мин;}$$

$$\text{для ВК15: } T = 0,66 \cdot S_z^{2,08+1,11 \ln S_z + 3,02 \ln t} \cdot t^{2,54+0,65 \ln t}, \text{ мин;}$$

$$\text{для ВК3М: } T = 0,64 \cdot S_z^{3,49+2,42 \ln S_z + 3,44 \ln t} \cdot t^{2,05+1,04 \ln t}, \text{ мин;}$$

Исследования периода стойкости при фрезеровании стеклотекстолита СТЭФ-1 показывают следующие результаты. У фрез, имеющих передний угол $\gamma = 25^\circ$ и задний угол $\alpha = 10^\circ$, величина фаски износа по задней поверхности при различных режимах резания достигает технологического значения, равного 0,35 мм, через незначительный промежуток времени (рис. 1).

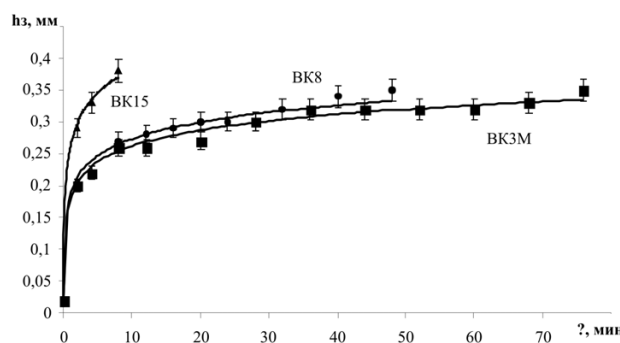


Рис. 1. Зависимость изменения фаски износа по задней поверхности от времени обработки при $S_z = 0,17$ мм/зуб и $t = 0,5$ мм, $V = 2750 \dots 2900$ м/мин

Период приработки инструмента, характеризующийся интенсивным износом режущей кромки, составляет от 2 до 5 мин в зависимости от применяемого твердого сплава. За этим следует период равномерного износа инструмента, продолжительность которого различна для исследуемых инструментальных материалов. Сплав ВК15 при данных условиях обработки выходит из зоны приработки, практически достигая предела, при котором работа данным инструментом должна быть прекращена в связи с неудовлетворительным качеством обработанной поверхности и возрастанием энергетических затрат. Для сплавов ВК8 и ВК3М период приработки составил порядка 2 мин с величиной фаски износа по задней поверхности, равной 0,15 и 0,2 мм соответственно.

При обработке композита СТЭФ-1 твердым сплавом ВК8 с величиной подачи $S_z = 0,17$ мм/зуб и $t = 0,5$ мм (рис. 2) период стойкости режущего ин-

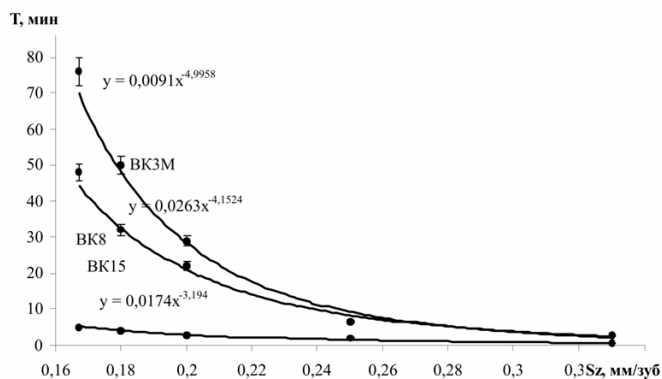


Рис. 2. Зависимость периода стойкости фрезы от величины подачи на зуб при $t = 0,5$ мм, $V = 2750 \dots 2900$ м/мин

струмента составил порядка 50 мин, увеличение подачи S_z до 0,33 мм/зуб при той же глубине резания привело к уменьшению периода стойкости до 2...2,5 мин.

Обработка твердым сплавом ВК3М показывает лучший результат по сравнению с другими материалами, при $S_z = 0,17$ мм/зуб и $t = 0,5$ мм (рис. 2) период стойкости составил порядка 76 мин, однако при увеличении S_z до 0,33 мм/зуб при той же глубине резания также резко снижается и составляет не более 3 мин.

Твердый сплав ВК15 при тех же условиях обнаруживает низкую работоспособность, а период стойкости при $S_z = 0,17$ мм/зуб и $t = 0,5$ мм (рис. 2) составляет не более 5 мин.

Увеличение глубины резания также оказывает негативное влияние на работоспособность инструмента (рис. 3).

Высокая интенсивность снижения периода стойкости наблюдается вплоть до $t = 0,8$ мм, после чего стабилизируется и равномерно приближается к нулю. Это связано с тем, что интенсивность износа инструмента даже при высоких значениях глубины резания снижается по достижении некоторой величины фаски износа по задней поверхности.

Исследование качественных параметров фрезерования сведено к определению шероховатости обработанной поверхности композиционного материала

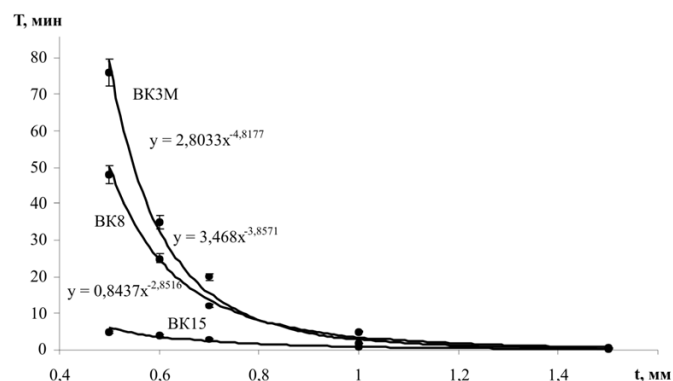


Рис. 3. Зависимость периода стойкости фрезы от глубины резания при $S_z = 0,17$ мм/зуб, $V = 2750 \dots 2900$ м/мин

ла СТЭФ-1. Эта величина определялась по параметру R_{max} , который имеет среднее значение максимальных высот микронеровностей поверхности в пяти различных точках измерения.

После первого прохода фрезы при $S_z = 0,17$ мм/зуб, $t = 0,5$ мм и $V = 2826$ м/мин шероховатость поверхности стеклотекстолита СТЭФ-1 составила 8...10 мкм при величине фаски износа h_3 по задней поверхности режущего инструмента, не превышающей 0,05 мм. С увеличением h_3 шероховатость обработанной поверхности растет и при достижении $h_3 = 0,35$ мм составляет 20...40 мкм (рис. 4).

Различия в интенсивности увеличения шероховатости R_{max} в зависимости от применяемого инструментального материала можно объяснить характером износа режущей кромки при фрезеровании. С одной стороны, исследуемые твердые сплавы в своем составе имеют различную концентрацию твердой фазы и размеры карбидных зерен, с другой — обрабатываемый материал имеет неоднородную структуру в

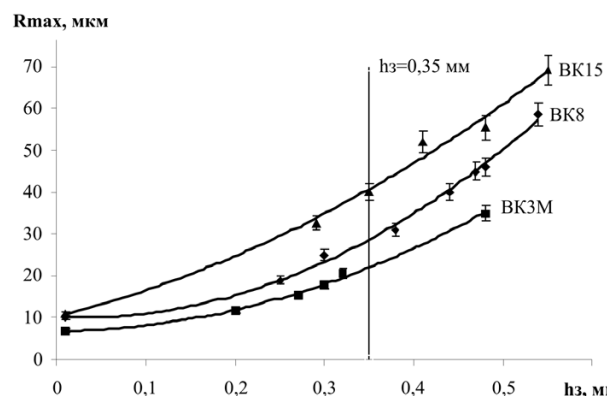


Рис. 4. Зависимость шероховатости поверхности R_{max} от изменения величины фаски износа по задней поверхности

микромасштабе. Согласно технологии изготовления применяемого стеклотекстолита упрочнитель укладывается послойно с пропиткой связующим, в результате чего материал приобретает слоистую структуру. Упрочнителем в данном случае является стеклоткань, прочностные свойства которой во многом превосходят свойства связки — эпоксифенольной смолы по таким параметрам, как твердость и предел прочности на сжатие. Таким образом, при обработке композита СТЭФ-1 режущая кромка взаимодействует с двумя материалами, оказывающими различное влияние на стойкость режущего инструмента, что приводит к неравномерному износу.

Так, при обработке композита СТЭФ-1 твердым сплавом ВК15, содержащим 85 % карбида вольфрама с размером зерен 3...5 мкм, шероховатость поверхности, при достижении критерия стойкости практически в два раза превышает шероховатость, полученную при обработке того же материала твер-

дым сплавом ВКЗМ, содержащим 97 % карбида вольфрама с размером зерен 1...1,5 мкм, поскольку в данном случае сплав ВК15 имеет меньшую сопротивляемость износу, чем сравниваемые твердые сплавы.

Качественное состояние обработанной поверхности стеклотекстолита в зависимости от изменения режимов резания оценено с помощью выявления дефектов, возникающих при фрезеровании данного композита твердым сплавом ВКЗМ (рис. 5).

При подаче $S_z = 0,17$ мм/зуб и глубине резания $t = 0,5$ мм обработанная поверхность не имеет видимых дефектов, а граница раздела между упрочнителем и матрицей имеет четкие контуры. С увеличением подачи до 0,33 мм/зуб при той же глубине резания появляются следы разрушения по крайним слоям материала, свойства которых отличаются от свойств средних слоев вследствие неравномерного распределения плотности при прессовании.

При $S_z = 0,33$ мм/зуб и $t = 2,0$ мм начинается интенсивное расслоение материала, разрушается связка и волокна уплотнителя вырываются с поверхности под действием высоких нагрузок, возникающих при встречном фрезеровании (рис. 5, б). При уменьшении подачи до 0,25 мм/зуб при глубине резания, равной 0,5 мм, наблюдается значительное улучшение качества поверхности по сравнению с предыдущим случаем, однако граница раздела «матрица-волокно» размыта, а часть волокон стеклоткани вытянута из матрицы или разрушена, что недопустимо при обработке таких материалов.

Таким образом, на основе проведенных исследований составлены рекомендации по назначению режимов резания при фрезеровании полимерных композиционных материалов, упрочненных стеклянными волокнами или тканями. Рекомендуется применять мелкозернистые твердые сплавы группы ВК с низким содержанием связки (Св), например, твердый сплав ВКЗМ, устанавливать подачу на зуб

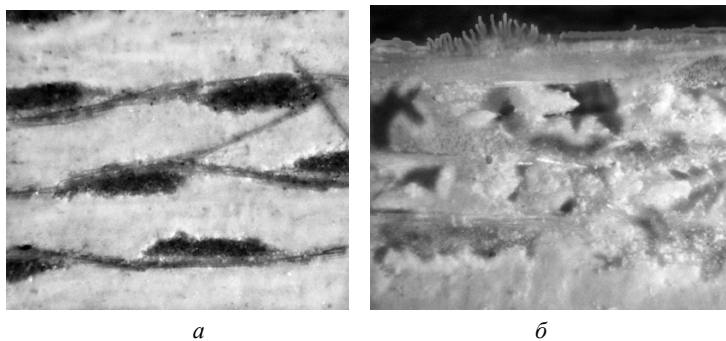


Рис. 5. Дефекты на поверхности композита СТЭФ-1 после двух минут обработки твердым сплавом ВКЗМ на различных режимах резания:

а – $S_z = 0,17$ мм/зуб; $t = 0,5$ мм; б – $S_z = 0,33$ мм/зуб; $t = 2,0$ мм

в пределах $S_z = 0,16...0,17$ мм/зуб и глубину резания $t = 0,5...0,6$ мм.

Применение результатов исследований и рекомендаций на предприятиях, занимающихся обработкой композиционных материалов для различных отраслей производства, позволит увеличить производительность обработки, качество и номенклатуру выпускаемых изделий, а также повысить экономическую эффективность производства.

Список литературы

1. Баранчиков В.И., Тарапанов А.С., Харламов Г.А. Обработка специальных материалов в машиностроении: справочник. Библиотека технолога. – М.: Машиностроение, 2002. – 264 с.
2. Лобанов Д.В., Янюшкин А.С. Подготовка режущего инструмента для обработки композиционных материалов: монография. – Братск: ГОУ ВПО «БрГУ», 2011. – 192 с.
3. Рычков Д.А., Янюшкин А.С., Лобанов Д.В., Ковалевский С.В., Мишура Е.В. Исследование работоспособности режущего инструмента на примере фрезерования // Научный вестник ДГМА. – 2010 – № 1 (6Е). – С. 203 – 208.
4. Лобанов Д.В., Янюшкин А.С., Рычков Д.А. Технологическая подготовка инструментального обеспечения при обработке композиционных материалов сборным фрезерным инструментом // Надежность инструмента и оптимизация технологических систем: сб. науч. трудов. – Краматорск. – Вып. 27. – 2010. – 188 с.

Perfection of technology of formation of the form of high-strength glass-fiber composite materials on the polymeric basis

D.A. Rychkov, A.S. Yanyushkin, D.V. Lobanov, V.V. Bazarkina

Influence of modes of cutting and design features of the cutting tool on its working capacity and quality of the processed surface is considered at milling of glass-fiber composite materials.

Key words: The cutting tool, glass-fiber composite materials, working capacity of the cutting tool, milling.