

## Износостойкость режущего инструмента, оснащенного особомелкозернистым твердым сплавом, при фрезеровании стеклотекстолита

Д.А. Рычков<sup>1a</sup>, Д.В. Лобанов<sup>2b</sup>, П.В. Архипов<sup>1c</sup>

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

<sup>2</sup> Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова,

пр. Московский, 15, Чебоксары, Чувашская Республика

<sup>a</sup> dielektrik84@mail.ru, <sup>b</sup> shut\_tm@bk.ru, <sup>c</sup> pavded@yandex.ru

<sup>a</sup> <https://orcid.org/0000-0002-9323-7693>, <sup>b</sup> <https://orcid.org/0000-0002-4273-5107>, <sup>c</sup> <https://orcid.org/0000-0003-0390-8367>

Статья поступила 28.08.2023, принята 07.09.2023

*В статье исследована возможность повышения износостойкости фрезерного инструмента при чистовой обработке композиционных материалов твердыми сплавами. Трудности при обработке композиционных материалов возникают из-за их неоднородной структуры и наличия высокопрочных наполнителей, вызывающих повышенный износ режущего инструмента. В настоящее время недостаточно исследовано влияние геометрии и режимов резания на период стойкости фрезерного инструмента при обработке стеклотекстолитов, что приводит к невозможности разработки оптимального технологического процесса. Для установления величины критерия износа проведены предварительные лабораторные испытания при фрезеровании стеклотекстолита на разных режимах резания. Установлено, что износ происходит по задней поверхности с образованием фаски, размер которой оказывает значительное влияние на качество обработанной поверхности. Для чистовой обработки рекомендовано, чтобы размер фаски износа не превышал 0,3 мм. По результатам проведенных экспериментальных исследований получена математическая модель периода стойкости при чистовом свободном фрезеровании стеклотекстолита от режимов резания и геометрии режущего инструмента. Установлено, что износ режущего инструмента происходит, главным образом, из-за трения режущей кромки об обрабатываемую поверхность; при увеличении переднего и заднего углов резания износостойкость режущего инструмента повышается, а при интенсификации режимов резания — резко снижается. В заключение даны рекомендации по чистовому фрезерованию стеклотекстолита: режущий инструмент должен обладать высокой твердостью и прочностью на сжатие; для обеспечения износостойкости режущего инструмента необходимо устанавливать режимы резания не более:  $V = 2\ 000$  м/мин;  $S_z = 0,1$  мм/зуб;  $t = 0,5$  мм.*

**Ключевые слова:** фрезерование; стеклотекстолит; износостойкость; твердый сплав.

## Wear resistance of a cutting tool equipped with an especially fine-grained hard alloy when milling fiberglass

D.A. Rychkov<sup>1a</sup>, D.V. Lobanov<sup>2b</sup>, P.V. Arkhipov<sup>1c</sup>

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

<sup>2</sup> Chuvash State University under name of I.N. Ulianov; 15, Moskovsky Prospect, Cheboksary, the Chuvash Republic

<sup>a</sup> dielektrik84@mail.ru, <sup>b</sup> shut\_tm@bk.ru, <sup>c</sup> pavded@yandex.ru

<sup>a</sup> <https://orcid.org/0000-0002-9323-7693>, <sup>b</sup> <https://orcid.org/0000-0002-4273-5107>, <sup>c</sup> <https://orcid.org/0000-0003-0390-8367>

Received 28.08.2023, accepted 07.09.2023

*The article explores the possibility of increasing the wear resistance of a milling tool when finishing composite materials with hard alloys. Difficulties in the processing of composite materials arise due to their heterogeneous structure and the presence of high-strength fillers, which cause increased wear of the cutting tool. At present, the influence of geometry and cutting conditions on the tool life of a milling tool in the processing of glass fiber laminates has not been sufficiently studied, which leads to the impossibility of developing an optimal technological process. To establish the value of the wear criterion, preliminary laboratory tests were carried out during milling of fiberglass in different cutting modes. It has been established that wear occurs along the back surface with the formation of a chamfer, the size of which has a significant impact on the quality of the machined surface. For finishing, it is recommended that the wear chamfer size does not exceed 0.3 mm. Based on the results of experimental studies, a mathematical model of the period of resistance to finishing free milling of fiberglass from cutting modes and geometry of a cutting tool is obtained. It has been established that the wear of the cutting tool occurs mainly due to the friction of the cutting edge on the surface being machined, with an increase in the front and rear cutting angles, the wear resistance of the cutting tool increases, and with an intensification of cutting conditions, it sharply decreases. In conclusion, recommendations are given for the finishing milling of fiberglass: the cutting tool must have high hardness and compressive strength; to ensure the wear resistance of the cutting tool, it is necessary to set cutting conditions no more than:  $V = 2000$  m/min,  $S_z = 0.1$  mm/tooth,  $t = 0.5$  mm.*

**Key words:** milling; fiberglass; wear resistance; hard alloy.

**Введение.** Полимерные композиционные материалы с высокопрочными стеклотканными наполнителями — стеклотекстолиты — находят все более широкое применение в промышленности и требуют совершенствования существующих технологий изготовления из них деталей различных форм [1–3].

Чаще всего изделия из стеклотекстолита получают путем укладки слоев стеклоткани с пропиткой полимерным связующим с последующим формообразованием до достижения требуемых размеров, точности и качества. Одним из наиболее доступных методов формообразования является резание, в частности, фрезерование плоских или фасонных поверхностей, которое рассмотрено в настоящем исследовании.

Перспективными являются материалы из мелкозернистых стеклотканей, созданных из магнийалюмосиликатного высокопрочного S-стекла на основе эпоксифенольного связующего, поскольку позволяют добиться лучшего качества обработанной поверхности, меньшей ворсистой, а также получать детали мелких размеров.

Структура композиционного материала неоднородная, в его составе присутствуют компоненты армирующего материала с высокой твердостью, модулем упругости, прочностью и компоненты матричного материала с невысокими прочностными характеристиками. С одной стороны, матричный компонент удаляется резанием без трудностей, с другой стороны, срезание армирующего компонента сопровождается повышенным износом режущего инструмента, приводит к появлению ворсистой и формированию дефектов обработанной поверхности, а также ухудшению качества обработки [4–9].

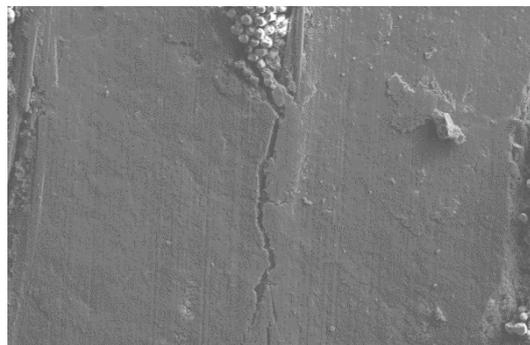
Для разработки эффективного технологического процесса необходимо решать эти проблемы в комплексе с оптимальным сочетанием высокой стойкости режущего инструмента, качества обработанной поверхности и производительности обработки. Однако предварительно необходимо выяснить причины низкой износостойкости режущего инструмента и определить пути устранения или предупреждения этой проблемы.

Исследования показывают, что обработка композиционных материалов должна проводиться высокопрочным инструментом, имеющим специфическую геометрию режущего лезвия, на высокой скорости резания [3; 10–12]. Это обеспечивает наиболее выгодное сочетание качества и производительности обработки.

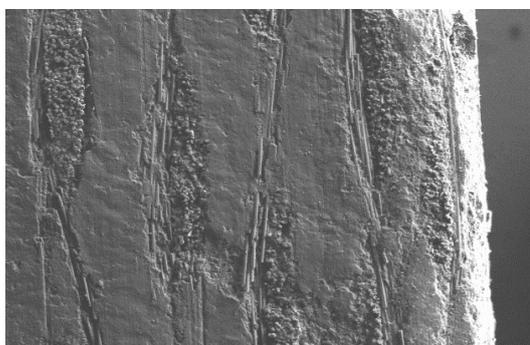
В ранее проведенных исследованиях недостаточное внимание уделено геометрии режущего инструмента и ее влияния на стойкость режущего инструмента при обработке стеклотекстолитов, тем не менее, даны рекомендации по формированию переднего и заднего углов режущего лезвия для обработки полимерных композиционных материалов с высокопрочными наполнителями и режимам резания [6; 14–17]. В настоящее время для обработки таких материалов широко применяются вольфрамкобальтовые твердые сплавы отечественных марок. Рекомендуется [3; 6; 11; 18] применять твердые сплавы с повышенной прочностью на сжатие с невысоким содержанием кобальта и мелкозернистой структурой. Это позволяет увеличить время работы режущего инструмента и уменьшить количество переточек.

Таким образом, целью исследования является повышение стойкости фрезерного инструмента при чистовой

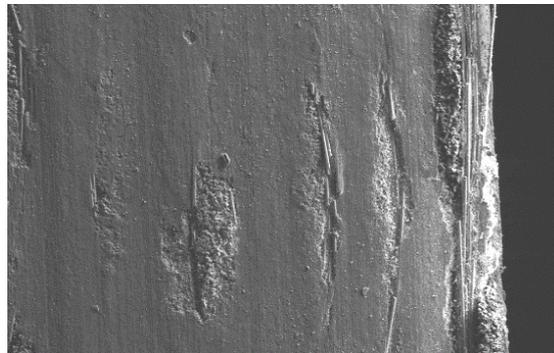
обработке композиционных материалов твердыми сплавами. В задачи исследования входит определение режимов обработки и геометрии режущего инструмента, обеспечивающих высокий период стойкости.



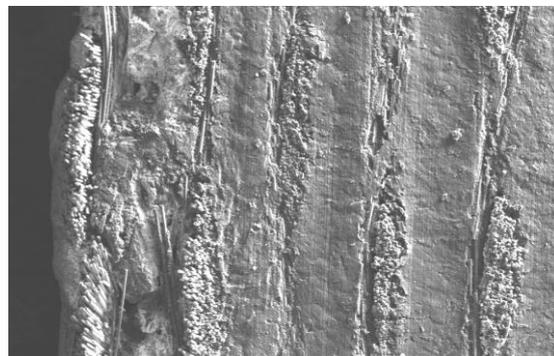
а)



б)



в)



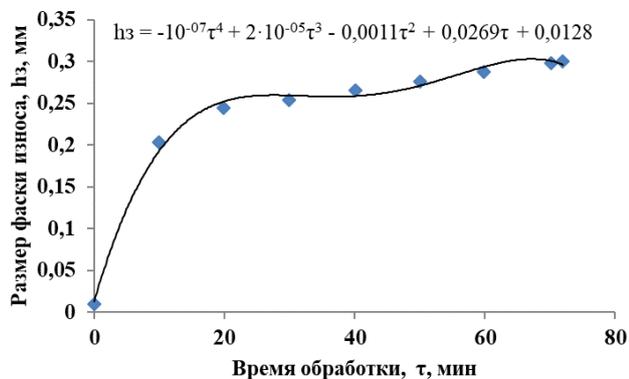
г)

**Рис. 1.** Обработанные поверхности стеклотекстолита: а)  $S_z = 0,25$  мм/зуб;  $t = 1,0$  мм;  $h_3 = 0,12$  мм; б)  $S_z = 0,16$  мм/зуб;  $t = 1,5$  мм;  $h_3 = 0,34$  мм; в)  $S_z = 0,16$  мм/зуб;  $t = 0,5$  мм;  $h_3 = 0,46$  мм; г)  $S_z = 0,33$  мм/зуб;  $t = 1,5$  мм;  $h_3 = 0,41$  мм

**Методика экспериментального исследования.** Период стойкости режущего инструмента определяется временем от начала его работы до возникновения необходимости восстановления режущей способности. Эта необходимость может возникать из-за критического ухудшения качества обработанной поверхности, повышения сил резания и температуры вследствие увеличения площади контакта поверхностей трения (образовавшейся фаски износа по задней поверхности и обрабатываемой поверхности), а также образования дефектов на обработанной поверхности и разрушения материала.

При резании композиционных материалов на полимерной основе характерен износ режущего инструмента по задней поверхности с образованием фаски износа  $h_z$  в связи с высокими упругими свойствами полимерной матрицы.

Для установления величины критерия износа и пределов варьирования факторов эксперимента проведен ряд лабораторных исследований на разных режимах свободного цилиндрического фрезерования конструкционного стеклотекстолита СТЭФ-1 поперек слоев. Для выявления дефектов обработанных поверхностей проведены исследования с использованием растрового электронного микроскопа *Carl Zeiss EVO50*. Установлено, что по мере увеличения износа режущего инструмента, как и при интенсификации режимов резания, на обработанной поверхности наблюдается рост дефектов в виде трещин в связке (рис. 1, а), вырывов связки (рис. 1, б), прижогов (рис. 1, в), расслоения (рис. 1, з) и др.



**Рис. 2.** Изменение размера фаски износа от времени обработки при  $V = 3\,000$  м/мин;  $t = 0,5$  мм;  $S_z = 0,1$  мм/зуб;  $\alpha = 5^\circ$ ;  $\gamma = 15^\circ$

Таким образом, для проведения экспериментального исследования установлены следующие параметры:

- способ обработки — свободное цилиндрическое фрезерование шириной 10 мм;
- режущий инструмент — прямоугольная фреза диаметром 165 мм с двумя режущими элементами, выполненными из твердого сплава марки ВК60М;
- обрабатываемый материал — стандартные листы стеклотекстолита марки СТЭФ-1, наиболее близкие по свойствам к композиту, полученному укладкой стеклотканей из высокопрочного S-стекла на основе эпоксифенольного связующего;
- оборудование — модернизированный под процесс фрезерования композиционных листовых материалов

заточной станок модели 3Д642Е с возможностью регулировки частоты вращения шпинделя и подачи стола в исследуемом диапазоне. Для отвода мелкодисперсной стружки станок дополнительно оснащен устройством местной вытяжной вентиляции [19];

– критерий износа — фаска износа по задней поверхности  $h_z = 0,3$  мм. Контроль фаски износа производился с помощью инструментального микроскопа через равные промежутки времени;

– факторы эксперимента и их варьирование (табл. 1);

– исследуемый параметр — период стойкости режущего инструмента  $T$ , выраженный в минутах, от начала работы до достижения критерия износа.

**Таблица 1.** Варьирование факторов эксперимента

Фактор	Интервал варьирования	Уровни		
		Основной	Верхний	Нижний
Скорость резания, $V$ , м/мин	968	2 121	3 089	1 153
Глубина резания, $t$ , мм	0,25	0,75	1	0,5
Подача, $S_z$ , мм/зуб	0,05	0,15	0,2	0,1
Задний угол, $\alpha$	5	10	15	5
Передний угол, $\gamma$	5	20	25	15

**Результаты и обсуждение.** По результатам эксперимента, с применением методов математической статистики получена математическая модель периода стойкости при чистовом свободном фрезеровании стеклотекстолита от режимов резания и геометрии режущего инструмента:

$$T = 1,08 \cdot 10^{30} \frac{t^{19,23} \cdot S_z^{16,55} \cdot \alpha^{6,18} \cdot \gamma^{0,82}}{V^{9,88+2,75 \ln t + 2,58 \ln S_z + 0,77 \ln \alpha}}, \text{ мин}, \quad (1)$$

где  $T$  — период стойкости режущего инструмента, мин;  $t$  — глубина резания, мм;  $S_z$  — подача на зуб фрезы, мм/зуб;  $\alpha$  — задний угол резания, град.;  $\gamma$  — передний угол резания, град.;  $V$  — скорость резания, м/мин.

Критерий износа — размер фаски износа по задней поверхности  $h_z$  изменяется во времени в процессе обработки следующим образом (рис. 2): несколько минут идет период приработки, когда размер фаски стремительно увеличивается, после чего процесс стабилизируется, и рост фаски износа становится менее интенсивным.

При фиксировании некоторых факторов можно определить зависимость определенной характеристики технологического процесса на период стойкости. Так, при увеличении заднего угла резания период стойкости увеличивается (рис. 3). Это связано с характером резания полимерных материалов и наличием у них высоких упругих свойств. При малом заднем угле резания поверхность трения режущего лезвия об обработанную поверхность увеличивается, что приводит к повышенному износу.

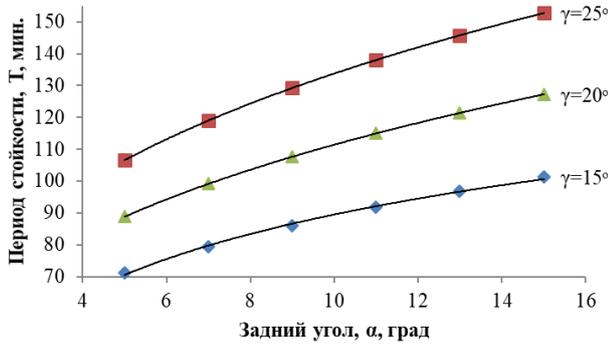


Рис. 3. Зависимость периода стойкости от заднего угла резания при  $V = 2\,000$  м/мин;  $t = 0,8$  мм;  $S_z = 0,1$  мм/зуб

Аналогичная ситуация наблюдается при увеличении переднего угла резания (рис. 4). Здесь меняются характер стружкообразования и направление силы резания. При малом переднем угле резания обрабатываемый материал подминается под режущую кромку, увеличивая тем самым площадь контакта задней поверхности режущего лезвия и обработанной поверхности.

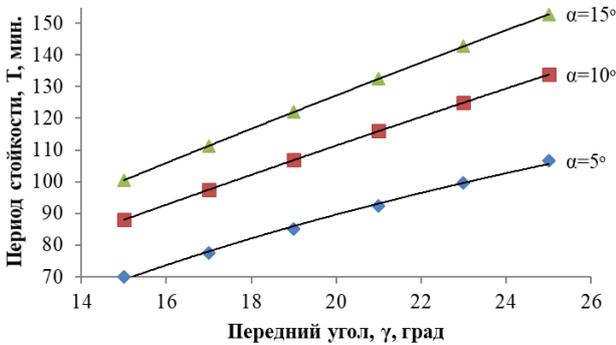


Рис. 4. Зависимость периода стойкости от переднего угла резания при  $V = 2\,000$  м/мин;  $t = 0,8$  мм;  $S_z = 0,1$  мм/зуб

Таким образом, геометрия режущего инструмента должна предполагать увеличенные углы резания для повышения периода стойкости. В отличие от резания металлов, уменьшение угла заострения режущего лезвия не вызывает значительного снижения прочности инструмента, поскольку силы резания при обработке полимерных материалов гораздо ниже сил резания при обработке металлов.

Режимы резания оказывают наиболее значительное влияние на период стойкости режущего инструмента. Увеличение скорости резания приводит к резкому снижению периода стойкости (рис. 5). При скорости резания более 2 000 м/мин на период стойкости режущего инструмента практически не оказывают влияния глубина резания и подача, поскольку критерий износа достигается уже в начале фрезерования. Аналогичная ситуация наблюдается при увеличении подачи и глубины резания (рис. 6, 7).

Резкое падение износостойкости режущего инструмента связано с увеличением толщины срезаемого слоя, а также длины и частоты непосредственного контакта режущего лезвия с обрабатываемой поверхностью. Это приводит к росту работы силы трения и повышенному износу режущего инструмента.

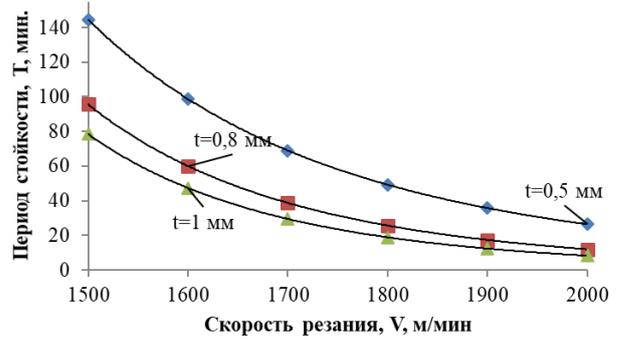


Рис. 5. Зависимость периода стойкости от скорости резания при  $S_z = 0,2$  мм/зуб;  $\alpha = 15^\circ$ ;  $\gamma = 25^\circ$

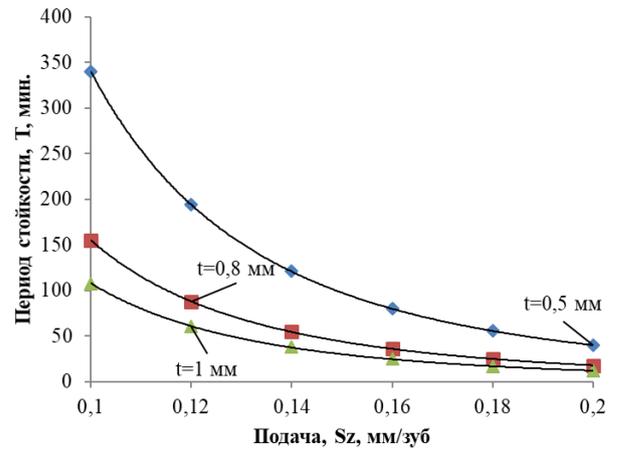


Рис. 6. Зависимость периода стойкости от подачи при  $V = 2\,000$  м/мин;  $\alpha = 15^\circ$ ;  $\gamma = 25^\circ$

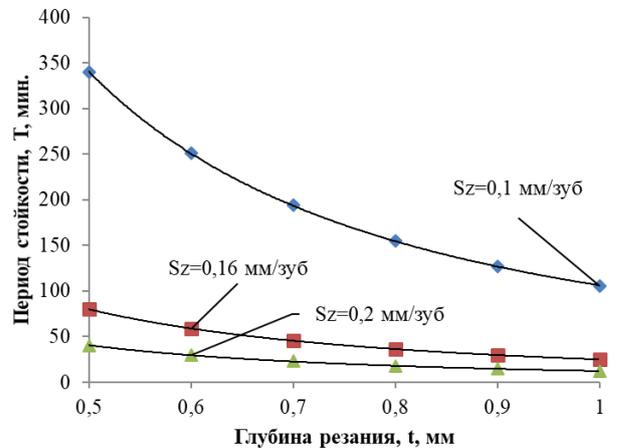


Рис. 7. Зависимость периода стойкости от глубины резания при  $V = 2\,000$  м/мин;  $\alpha = 15^\circ$ ;  $\gamma = 25^\circ$

**Выводы.** Результаты проведенных исследований позволили установить характер изнашивания режущего инструмента, оснащенного особомелкозернистым твердым сплавом, при обработке стеклотекстолита. Износ режущего инструмента происходит, главным образом, из-за трения режущей кромки об обрабатываемую поверхность. При увеличении сопротивления резанию вследствие интенсификации режимов резания повышается давление на режущую кромку, что приводит к повышенному износу режущего инструмента.

В связи с этим можно дать следующие рекомендации по чистовому фрезерованию стеклотекстолита:

– применять инструментальные материалы с высокой твердостью и прочностью на сжатие, так как они имеют более высокую стойкость к истиранию, например, твердые сплавы с высоким содержанием карбидной твердой фазы и мелкозернистой структурой;

– для обеспечения износостойкости режущего инструмента устанавливать режимы резания, не более:  $V = 2\ 000$  м/мин;  $S_z = 0,1$  мм/зуб;  $t = 0,5$  мм. При этом допус-

кается увеличение до 50 % отдельно подачи либо глубины резания, когда падение периода стойкости не достигнет критических значений.

Проведенные исследования служат основой для проведения научных исследований, направленных на решение комплексной задачи оптимизации технологического процесса механической обработки композиционных материалов.

#### Литература

1. Гроссман Ф. Разработка композиций на основе ПВХ. М.: Машиностроение, 2009. 608 с.
2. Макаров В.Ф., Мешкас А.Е., Ширинкин В.В. Исследование процессов механической обработки деталей авиационно-космической техники из новых композиционных материалов // Новые материалы и технологии в машиностроении. 2015. № 22. С. 14-22.
3. Баранчиков В.И., Тарапанов А.С., Харламов Г.А. Обработка специальных материалов в машиностроении: справ. М.: Машиностроение, 2002. 264 с.
4. Скрябин В.А. Особенности обработки деталей из полимерных материалов лезвийными инструментами // Транспортное машиностроение. 2022. № 5 (5). С. 13-21.
5. Макаров В.Ф., Волковский А.А., Сабирзянов А.И. Повышение производительности и качества обработки композиционных материалов на основе выбора и рационального применения абразивного инструмента // Научные технологии в машиностроении. 2020. № 9 (111). С. 40-48.
6. Рычков Д.А., Янюшкин А.С. Технология механической обработки композиционных материалов: моногр. Старый Оскол: Изд-во ТНТ, 2017. 224 с.
7. Марков А.М. Технологические особенности механической обработки деталей из композиционных материалов // Научные технологии в машиностроении. 2014. № 7 (37). С. 3-8.
8. Марков А.М., Черданцев П.О., Гайст С.В., Катаева С.А. Экспериментальные исследования фрезерования композиционных материалов // Инновации в машиностроении: сб. тр. VII Междунар. науч.-практической конф. (23-25 сент. 2015 г.). Кемерово, 2015. С. 99-104.
9. Янюшкин А.С., Рычков Д.А., Лобанов Д.В. Качество поверхности композиционного материала стеклотекстолит после фрезерования // Инновационные технологии и экономика в машиностроении. 2014. Т. 1. С. 343-347.
10. Верещака А.С., Дачева А.В., Шеремет М.В., Верещака А.А. Применение твердосплавного инструмента с наноструктурированным покрытием для эффективного резания труднообрабатываемых материалов // Физика, химия и механика трибосистем. 2010. № 9. С. 79-87.
11. Мордвин М.А., Якимов С.В., Баклушин С.М. Рекомендации по механической обработке композиционных материалов // Вестн. Ижевского гос. технического ун-та. 2010. № 2. С. 26-29.
12. Общемашиностроительные нормативы режимов резания, норм износа и расхода резцов, сверл и фрез при обработке неметаллических конструкционных материалов (пластмасс). М.: НИИмаш, 1982. 146 с.
13. Ярославцев В.М. К вопросу о возможности применения высокоскоростной обработки полимерных композиционных материалов // Вестн. Московского гос. технического ун-та им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение. 2015. № 3 (102). С. 59-70.
14. Даниленко Б.Д. Приближенный выбор режимов фрезерования пластмасс // Справочник. Инженерный журнал. 2009. № 6. С. 49-51.
15. Александров А.С., Петров В.М., Шарко Е.А. Методики исследования обрабатываемости резанием полимерных композиционных материалов и оценки параметров качества поверхностного слоя // Металлообработка. 2021. № 5-6 (125-126). С. 10-19.
16. Зубарев Ю.М., Приемышев А.В., Заостровский А.С. Особенности силового контактного взаимодействия в зоне резания при лезвийной механической обработке заготовок из полимерных композитных материалов // Научные технологии в машиностроении. 2018. № 5 (83). С. 34-39.
17. Болотников И.С., Косенко Е.А., Демин П.Е. Выбор режимов резания базальтопластиков // Технология металлов. 2022. № 5. С. 33-41.
18. 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.
19. Лобанов Д.В., Денисов С.В., Самусев И.Н., Сурьев А.А. Экспериментальный стенд для исследований процесса деревообработки в лабораторных условиях // Труды Братского гос. ун-та. Сер. Естественные и инженерные науки. 2003. Т. 2. С. 83-86.

#### Reference

1. Grossman F. Development of compositions based on PVC. M.: Mashinostroenie, 2009. 608 p.
2. Makarov V.F., Meshkas A.E., SHirinkin V.V. Investigation of the processes of mechanical processing of parts of aerospace equipment from new composite materials // New materials and technologies in engineering. 2015. № 22. P. 14-22.
3. Baranchikov V.I., Tarapanov A.S., Harlamov G.A. Processing of special materials in mechanical engineering: sprav. M.: Mashinostroenie, 2002. 264 p.
4. Skryabin V.A. Peculiarities of processing parts from polymeric materials with blade tools // Transport Engineering. 2022. № 5 (5). P. 13-21.
5. Makarov V.F., Volkovskij A.A., Sabirzyanov A.I. Increasing the productivity and quality of processing composite materials based on the choice and rational use of abrasive tools // Science intensive technologies in mechanical engineering. 2020. № 9 (111). P. 40-48.
6. Rychkov D.A., YAnyushkin A.S. Technology of mechanical processing of composite materials: monogr. Staryj Oskol: Izd-vo TNT, 2017. 224 p.
7. Markov A.M. Technological features of mechanical processing of parts from composite materials // Science intensive technologies in mechanical engineering. 2014. № 7 (37). P. 3-8.
8. Markov A.M., CHerdancev P.O., Gajst S.V., Kataeva S.A. Experimental studies of milling composite materials // Innovacii v mashinostroenii: sb. tr. VII Mezhdunar. nauch.-prakticheskoye konf. (23-25 sent. 2015 g.). Kemerovo, 2015. P. 99-104.
9. YAnyushkin A.S., Rychkov D.A., Lobanov D.V. The quality of the surface of the composite material fiberglass after milling // Innovacionnye tekhnologii i ekonomika v mashinostroenii. 2014. V. 1. P. 343-347.
10. Vereshchaka A.S., Dacheva A.V., SHERemet M.V., Vereshchaka A.A. Application of hard-alloy tool with nanostructured

- coating for effective cutting of hard-to-machine materials // *Fizika, himiya i mekhanika tribosistem*. 2010. № 9. P. 79-87.
11. Mordvin M.A., YAKimov S.V., Baklushin S.M. Recommendations for mechanical processing of composite materials // *Bulletin of Kalashnikov ISTU*. 2010. № 2. P. 26-29.
  12. General engineering standards for cutting modes, wear rates and consumption of cutters, drills and milling cutters when processing non-metallic structural materials (plastics). M.: NII-mash, 1982. 146 p.
  13. YAroslavcev V.M. On the question of the possibility of using high-speed processing of polymer composite materials // *Herald of the Bauman Moscow State Technical University. Series Mechanical Engineering*. 2015. № 3 (102). P. 59-70.
  14. Danilenko B.D. Approximate choice of plastic milling modes // *Handbook. An Engineering Journal*. 2009. № 6. P. 49-51.
  15. Aleksandrov A.S., Petrov V.M., SHarko E.A. Methods for studying the machinability of polymer composite materials by cutting and assessing the quality parameters of the surface layer // *Metalloobrabotka*. 2021. № 5-6 (125-126). P. 10-19.
  16. Zubarev YU.M., Priemyshev A.V., Zaostrovskij A.S. Peculiarities of power contact interaction in the cutting zone during blade machining of workpieces made of polymer composite materials // *Science intensive technologies in mechanical engineering*. 2018. № 5 (83). P. 34-39.
  17. Bolotnikov I.S., Kosenko E.A., Demin P.E. Choice of cutting modes of basalt plastics // *Technology of Metals*. 2022. № 5. P. 33-41.
  18. Rychkov D.A., YAnyushkin A.S., Lobanov D.V., Bazarkina V.V. Improving the technology of shaping high-strength fiberglass composite materials on a polymer basis // *Obrabotka Metallov (Metal Working and Material Science)*. 2012. № 3. P. 150-153.
  19. Lobanov D.V., Denisov S.V., Samusev I.N., Sur'ev A.A. Experimental stand for research of the woodworking process in laboratory conditions // *Trudy Bratskogo gos. un-ta. Ser. Estestvennye i inzhenernye nauki*. 2003. V. 2. P. 83-86.