

DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-10-84-90

*\*Титова И.В., Коноплин А.Н.**Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I**\*E-mail: titovair@yandex.ru*

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ С РАЗРАБОТКОЙ КОНСТРУКЦИИ РЕЗЦА ДЛЯ ЧИСТОВОГО ТОЧЕНИЯ

**Аннотация.** Рассмотрен технологический процесс механической обработки композиционных материалов. Дана краткая характеристика композиционных материалов, их физико-механических свойств, изучена их структура. Отражены особенности обработки стеклопластиков, углепластиков, органопластиков и боропластиков. Процесс обработки композитов будет затруднен из-за схем армирования, различного направления волокон, видов укладок непрерывными волокнами. Все это ведет к определенным требованиям, которые будут предъявляться к инструменту и его интенсивности изнашивания. Изнашивание инструмента складывается из разных видов изнашивания – адгезионного, усталостного, абразивно-механического, химического. При проведении процесса резания необходимо учитывать направление армирования, а значит, и направление обработки режущего инструмента. В зависимости от состояния поверхностного слоя рассмотрен режущий инструмент, необходимый для проведения механической обработки. Дано обоснование необходимости совершенствования конструкции режущего инструмента. Для осуществления процесса резания разработана конструкция резцовой головки. Она состоит из чернового и чистового резцов. Рассмотрены и подобраны значения параметров конструкции резцовой головки. Определена оптимальная глубина резания для чистового резца. Опытным путем подбирались геометрические параметры чистового резца, назначение которого – обеспечить требуемое качество обработки. С помощью опытов найдены значения угла отклонения главной режущей кромки от горизонтальной плоскости. Подробно описана конструкция чистового резца, который в значительной степени устраняет недостатки обработки. Исключается появление опережающей трещины при точении чистовым резцом.

**Ключевые слова:** композиционные материалы, машиностроение, режущий инструмент, резцовая головка, механическая обработка.

**Введение.** При изготовлении изделий из композиционных материалов применяются различные виды механической обработки, которые позволят достигнуть требуемой точности и качества поверхности. Токарная обработка является одним из самых распространенных видов механической обработки, ее производят на токарно-винторезных и специальных станках. Обработка резанием применяется также при изготовлении элементов, которые невозможно получить в пресс-формах, например, отверстий, расположенных под углом к направлению прессования, канавок, резьбы и т.д. или для исправления дефектов, имеющих место на предыдущих стадиях изготовления [1].

При обработке композиционных материалов присутствуют те же явления, что и при резании металлов, т.е. существуют силовые и тепловые явления, происходит процесс стружкообразования и интенсивно изнашивается режущий инструмент.

Среди полимерных композитов конструкционного назначения наибольшее распространение нашли: стеклопластики, углепластики, органопластики и боропластики.

Стеклопластики – это материалы, в которых упрочняющим наполнителем является стеклянное волокно. Углепластики – это материалы на основе углеродных волокон. Механическая обработка стеклопластиков и углепластиков похожа по основным характеристикам, но все же лучше обрабатывается углепластик. Для обработки стеклопластика необходимо увеличивать стойкость инструмента.

Органопластики – это полимерные композиционные материалы, армированные волокнами, полученными на основе ароматических полиамидов. Механическая обработка органопластиков будет более сложным, чем процесс обработки углепластиков и стеклопластиков. Это обусловлено составом органопластиков. Он представляет собой полимер, наполненный полимером. Плотность органических волокон будет ниже плотности минеральных, но удельные значения плотности и жесткости будут высоки. При токарной обработке стружка состоит из прочно связанных между собой волокон наполнителя. Стружка наматывается на режущий инструмент и затрудняет процесс резания.

Боропластики – это материалы, армированные борными волокнами или борными нитями.

Точение изделий из боропластиков сложно из-за наличия в них твердых армирующих волокон.

Проблемам обработки композиционных материалов посвящены работы В.В. Амалицкого, В.И. Баранчикова, А.М. Булгаева, А.И. Вигдоровича, В.И. Коняшина, Н.А. Кряжева, А.М. Маркова, Е.А. Памфилова, А.А. Позднякова, Рычкова Д.А., Г.В. Сагалаева, А.С. Тарапанова, Г.А. Харламова, Singh S., Palanisamy V., Divyapriya P. и др. Для оптимизации процесса резания композиционных материалов, достижения максимальной производительности и требуемого качества обработанной поверхности необходим режущий инструмент, который будет отвечать специфическим требованиями к качеству формирования режущих элементов. Вопросам подготовки и проектирования режущего инструмента для обработки композиционных материалов посвящены работы В.В. Амалицкого, В.А. Гречишников, А.Э. Грубе, С.В. Кирсанова, Г.А. Зотова, Г.М. Ипполитова, Д.В. Кожевникова, В.Г. Морозова и др. Установлено, что режущая часть таких ин-

струментов должна иметь более высокие значения переднего и заднего углов. Однако исследования не привели к формированию четких рекомендаций по подготовке инструмента для обработки композиционных материалов.

Целью нашей работы является разработка конструкции резцовой головки, которая позволит улучшить качество поверхности, учесть недостатки при обработке композиционных материалов и повысить стойкость режущего инструмента.

**Основная часть.** Композитные материалы являются волокнистыми материалами, в отличие от металлов, имеющих кристаллическое строение. В настоящее время среди большого разнообразия полимерных композиционных материалов особое место по перспективности применения и разнообразию свойств занимают армированные пластики, состоящие из двух фаз – полимерной матрицы и армирующего (усиливающего) наполнителя [2, 3, 4, 5]. На рисунке 1 показаны схемы армирования композиционных материалов.

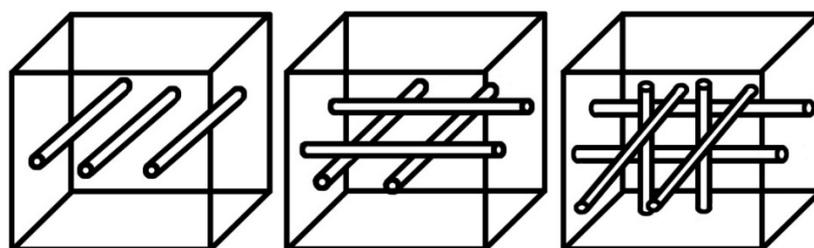


Рис. 1. Схемы армирования композиционных материалов:  
а – одноосное, б – двухосное, в – трехосное

Обработка различных композиционных материалов имеет свои особенности. Отличительной особенностью волокнистых композитов является анизотропия свойств, обусловленная преимущественным расположением волокон в том или ином направлении [6,7]. Всегда при точении пластмасс и композиционных материалов происходит резание как вдоль волокон, так и перпендикулярно к ним. Процесс обработки композитов

будет затруднен из-за схем армирования, различного направления волокон, видами укладок непрерывными волокнами. На рисунке 2 показана схема армирования композиционных материалов непрерывными волокнами. На рисунке 3 даны формы сечений армирующих волокон, применяемых в композиционных материалах.

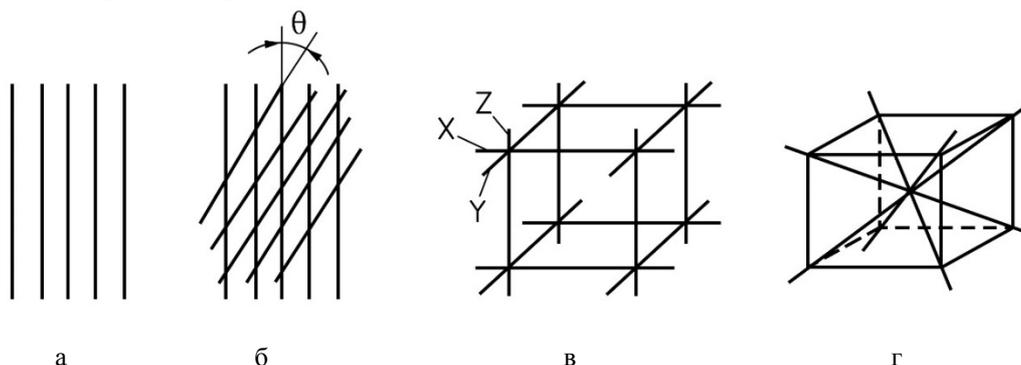


Рис. 2. Схема армирования композиционных материалов непрерывными волокнами:  
а – одномерная укладка, б – двумерная укладка, в – схема армирования 3D, г – схема армирования 4 D

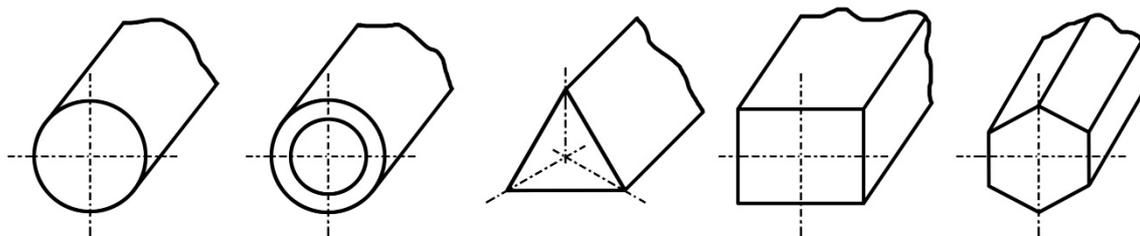


Рис. 3. Формы сечений армирующих волокон

Основным фактором, вызывающим снижение прочности полимерных композитов в случае неизменности свойств волокон, является рост эффективной длины волокна и как следствие этого снижение прочности волокна в композите, соответствующей эффективной длине [8, 9]. При проведении процесса резания необходимо учитывать направление армирования, а значит, и направление обработки режущего инструмента. Поэтому, необходимо разработать режущий инструмент, который будет учитывать все перечисленные выше недостатки.

Полимерные композиционные материалы имеют слоистую структуру и при резании в зоне обработки повышается температура, что приводит к уменьшению прочности и хрупкости. В отличие от металлов, при повышении температуры свыше 300–350 °С у композиционных материалов начинается термодеструкция, разлагается полимерная связующая из-за низкой термостойкости. Появляется большой дефектный слой и резко ухудшаются свойства материала. Обрабатывать композиционный материал необходимо при режимах, не превышающих заданную температуру. Основное тепло выделяется при трении по задней поверхности инструмента. Теплота накапливается в инструменте, повышается температура в режущих кромках инструмента. Все это ведет к определенным требованиям, которые будут предъявляться к инструменту и его интенсивности изнашивания. Изнашивание инструмента складывается из разных видов изнашивания – адгезионного, усталостного, абразивно-механического, химического. При обработке резанием диффузионный износ не наблюдается, так как температура резания при механической обработке композитов не превышает 500 °С.

Обработку необходимо проводить острозаточенным инструментом. При работе затупленным инструментом в местах обработки образуются трещины между волокнами. Так как материал слоистый, образуются сколы и выкрашивание материала, там, где режущий инструмент начинает и заканчивает обработку. Все это негативно сказывается на качестве поверхности. Армирующие волокна композиционных материалов слоятся, разломачиваются, ухудшается внеш-

ний вид поверхности. Тогда необходимо применять дополнительные операции, такие как шлифование, полирование, что ведет к удорожанию процесса резания [10, 11].

В машиностроении детали из указанных материалов изготавливаются в основном точением резцами с прямыми режущими кромками, так называемое «свободное» точение. При точении такими резцами срезание происходит со скалыванием по поверхности обработки вдоль волокон. Стружка, перемещаясь по передней поверхности инструмента, оттягивается от обработанной поверхности, продолжает увеличивать опережающую трещину до тех пор, пока напряжение изгиба стружки не превысит предела прочности, и она не сломается. При дальнейшем движении инструмента процесс повторяется. При этом опережающая трещина может идти в сторону обработанной поверхности, что приводит к заколкам, а следовательно, и к значительному снижению качества обработки.

При механической обработке деталей из композитов возникает много трудностей, связанных со спецификой процесса резания неметаллических композитов: низкий ресурс инструмента, появление на обработанной поверхности различных дефектов [12, 13].

Принимая во внимание особенности физико-механических свойств композиционных материалов, можно прийти к следующему выводу о необходимости поддержании режущего инструмента всегда в острозаточенном состоянии, что не всегда возможно. Тогда надо идти по пути заземления твердых слоев в мягких слоях.

Кроме того, при обработке композитов большое значение для увеличения стойкости резца имеет его заточка с минимальным радиусом округления режущей кромки. Поскольку разные инструментальные материалы имеют различные минимальные радиусы округления режущей кромки при заточке, то оптимальным будет тот, который позволяет получить минимальные значения радиуса закругления режущей кромки.

Режущие кромки из инструментальных сталей обычно заточены с  $\rho = 2\div 3$  мкм. По мере затупления кромки отклонение волокон увеличивается

ется, при этом они выдерживаются со стороны деформированной стружки, что приводит к появлению ворсистости.

Как показали опыт, при точении пластмасс и композитов удовлетворительная обработка наблюдалась в течение 5–6 минут резания, далее инструмент следует перезатачивать.

Авторами разработана конструкция резцовой головки, которая позволит улучшить качество поверхности, учесть недостатки и повысить

стойкость в 8–10 раз, что составит 55–60 минут. Резцовая головка состоит из черного и чистового резцов. Рассмотрим подробно конструкцию черного резца.

Опытным путем подбирались геометрические параметры чистового резца, назначение которого – обеспечить требуемое качество обработки. Внешний вид чистового резца, схема его работы и геометрические параметры приведены на рисунке 4.

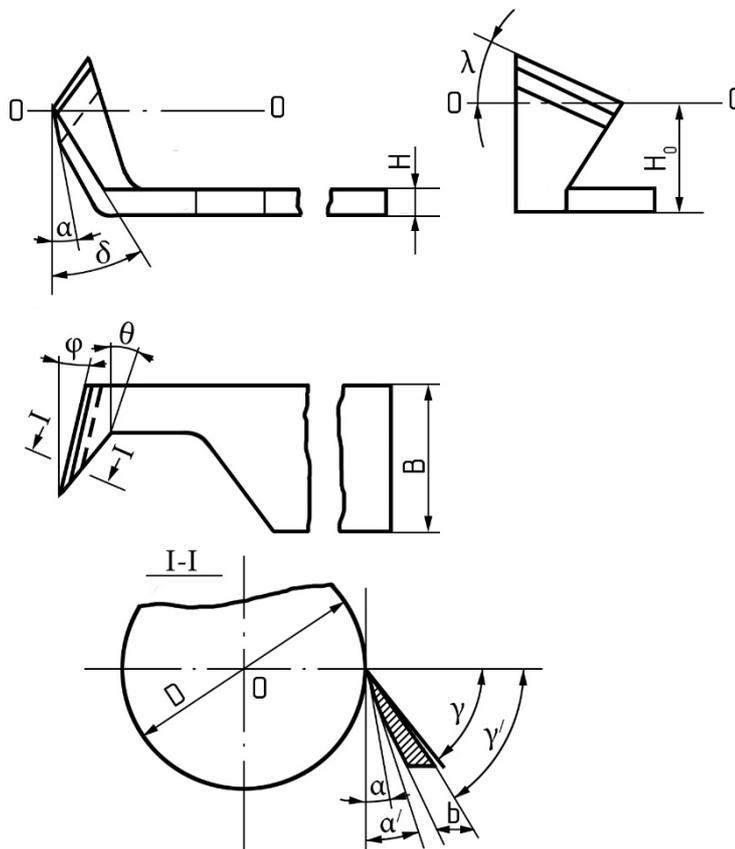


Рис. 4. Внешний вид чистового резца

Угол отклонения главной режущей кромки от горизонтальной плоскости  $\lambda$  рекомендуется для обработки более твердых материалов –

10+20°, средних- 25±30° и мягких – 40+45° (таблица 1).

Таблица 1

**Параметры углов чистового резца**

$\alpha^0$	$\alpha'^0$	$\gamma^0$	$\gamma'^0$	$\delta^0$	$\varphi^0$	$\Theta^0$	$\lambda^0$	B, мм
4-6	6-8	55-60	60-65	27-30	2-10	6-8	10-45	2-5

Рассмотрим конструкцию резцовой головки, включающей в себя черновой и чистовой резцы, состоящей из корпуса 1, резца 2 для черного точения, резца 3 для чистового точения, установочных клиньев 4 и крепежных винтов 5 (рис. 5).

Параметр «а» менялся прокладками, которые определяют величину перекрытия режущей кромкой чистового резца, то есть чистовой резец

срезает слой прижатой задней поверхностью черного резца.

Величина «в» меняется взаимным расположением резцов и определяет глубину резания чистовым резцом. Лучшие результаты получены при  $v = 1$  мм, при увеличении этого значения повысилась степень деформации стружки и обработанной поверхности чистовым резцом, при

уменьшении неровности после чернового точения не полностью срезались чистовым резцом.

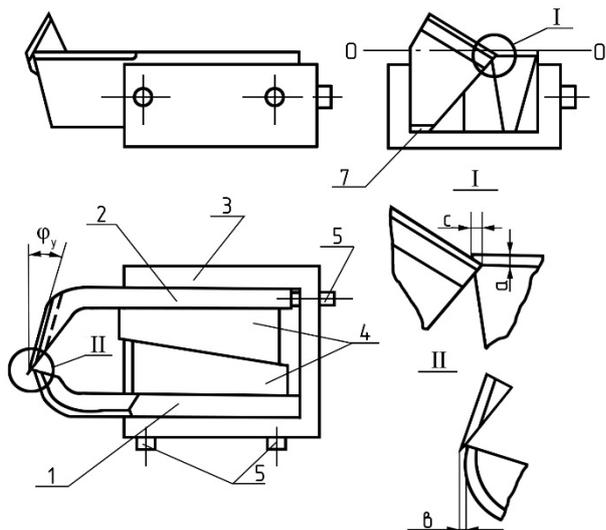


Рис. 5. Конструкция резцовой головки с черновым и чистовым резцами

Величина «с» также менялась взаимным расположением резцов и определяла перекрытие главной режущей кромки чистового резца черновым, лучшие результаты получены при  $C = 1 \div 1,2$  мм. Увеличение этого размера ведет к усиленному дроблению срезаемой стружки чистовым резцом, что затрудняло ее сход с его передней поверхности, при уменьшении – улучшалось качество обработки.

Процесс обработки протекает так: черновой резец режет по принципу «свободного» резания, однако, в отличие от обычного резца задняя поверхность прижимается к обработанной поверхности заготовки по большей длине, что обеспечивает предотвращение вырова, заколов чистовым резцом, который срезает слой, зажаты между задней поверхностью чернового резца и передней – чистового, и, следовательно, исключается появление опережающей трещины при точении чистовым резцом.

**Выводы.** Как показали опыты, точение предложенной резцовой головкой композиционных материалов обеспечивает волнистость поверхности меньше 1 мкм при подачах 0,4 – 2 мм/об, ворсистость незначительна, а при достаточной жесткости заготовки обработанная поверхность приобретает гляцевый вид. Припуск на обработку практически не влияет на ее качество при достаточной жесткости заготовки, что позволяет вести обработку за один проход.

Данная резцовая головка используется для торцевой обработки плоских поверхностей. С этой целью было изготовлено 10 резцовых головок, которые устанавливались на диске с одина-

ковым вылетом чистовых резцов. Диску сообщалось вращательное движение как торцевой фрезе, а резцовые головки выполняли роль режущих зубьев.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сосенушкин Е.Н. Технологические процессы и инструменты для изготовления деталей из пластмасс, резиновых смесей, порошковых и композиционных материалов: учебное пособие/ Санкт-Петербург: Лань, 2018.300 с.
2. Галимов Э.Р., Абдуллин А.Л. Современные конструкционные материалы для машиностроения: учебное пособие. 3-е изд., стер. Санкт-Петербург: Лань, 2020.268 с.
3. Мэттьюз Ф., Ролингс Р. Композитные материалы. М.: Техносфера, 2004.408 с.
4. Конструкционные композиционные материалы. Под ред. Е.Н.Каблова. М.: ФГУП ВИАМ, 2012.58 с.
5. Deborah, D.L. Composite materials: science and applications. Functional materials for modern technologies> Printed in Great Britain, 2004.293p.
6. Шевченко А.А. Физикохимия и механика композиционных материалов: Учебное пособие для вузов. СПб.: ЦОП «Профессия», 2010. 224 с.
7. Иванов Д.А., Ситников А.И., Шляпин С.Д., Ильин А.А. Композиционные материалы: учебное пособие для вузов/ Москва: Издательство Юрайт, 2019. 253 с.
8. Растяжение и сжатие волокон. [Электронный ресурс] URL: <http://stilin.ru/struktura-i-svoystva-kompozitov/209-rastyazhenie-i-szhatie-vdol-volokon.html> (дата обращения 30.06.2015)
9. Зубарев Ю.М., Приемышев А.В. Особенности изнашивания инструментальных материалов при механической обработке резанием заготовок из полимерных композиционных материалов // Научные технологии в машиностроении. 2018. № 7 (85). С. 27–31.
10. Ярославцев В.М. Обработка резанием полимерных композиционных материалов: учеб. пособие. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012. 180 с.
11. Aronson R. Modern materials in mechanical engineering: their features and applications // Manufacturing Engineering, 2002.V. 127, № 3. P. 123-136.
12. Гладков С.О. Физика композитов: учебник для вузов. 2-е изд., испр. и доп. Москва: Издательство Юрайт, 2020.332 с.
13. Парфеньева И.Е. Технология конструкционных материалов: Учебное пособие. Москва: Учебное пособие, 2009.198 с.

14. Рычков Д.А., Янюшкин, А.С. Технология механической обработки композиционных материалов: монография. Старый Оскол: Тонкие наукоемкие технологии, 2017. 224 с.

15. Титова И.В., Киселев И.С. Достоинства и недостатки композиционных материалов // Наука

и образование в современных условиях: материалы международной научной конференции. Воронеж: ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», 2016. С. 307–313.

*Информация об авторах*

**Титова Ирина Вячеславовна**, кандидат технических наук, доцент кафедры эксплуатации транспортных и технологических машин. E-mail: titovair@yandex.ru. Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I. Россия, 394087, Воронеж, ул. Мичурина, д.1.

**Коноплин Алексей Николаевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры эксплуатации транспортных и технологических машин. E-mail: aleksejj-konoplin@rambler.ru. Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I. Россия, 394087, Воронеж, ул. Мичурина, д.1.

Поступила 20.09.2020 г.

© Титова И.В., Коноплин А.Н., 2020

**\*Titova I.V., Konoplin A.N.**

*Voronezh state agrarian University named after Emperor Peter I*

*\*E-mail: titovair@yandex.ru*

## IMPROVEMENT OF TECHNOLOGICAL PROCESS OF MACHINING WITH THE DESIGN OF THE CUTTER FOR FINISH TURNING

**Abstract.** *The technological process of mechanical processing of composite materials is considered. A brief description of composite materials, their physical and mechanical properties, and their structure is studied. The features of processing of glass-reinforced plastics carbon fiber reinforced plastics, organic plastics and bioplastics are reflected. The processing of composites will be difficult due to reinforcement schemes, different fiber directions and types of continuous fiber laying. All this leads to certain requirements that will be imposed on the tool and its wear rate. Tool wear consists of different types of wear – adhesive, fatigue, abrasive-mechanical, chemical. When carrying out the cutting process, it is necessary to take into account the direction of reinforcement, and therefore the direction of processing of the cutting tool. Depending on the state of the surface layer, the cutting tool required for mechanical processing is considered. The justification of the need to improve the design of the cutting tool is given. The design of the cutting head has been developed for the cutting process. It consists of roughing and finishing cutters. The values of the design parameters of the tool head are considered and selected. The optimal cutting depth for the finishing tool is determined. The geometric parameters of the finishing tool are selected experimentally, the purpose of which is to provide the required quality of processing. Using experiments, the values of the angle of deviation of the main cutting edge from the horizontal plane are found. The design of the finishing tool is described in detail, which largely eliminates the disadvantages of processing. The appearance of a leading crack when turning with a finishing tool is excluded.*

**Keywords:** *composite materials, mechanical engineering, cutting tools, tool head, mechanical processing.*

### REFERENCES

1. Sosnushkin E.N. Technological processes and tools for manufacturing parts from plastics, rubber mixtures, powder and composite materials [Tekhnologicheskiye protsessy i instrumenty dlya izgotovleniya detaley iz plastmass. rezinovykh smesey poroshkovykh i kompozitsionnykh materialov]: textbook. Saint Petersburg: LAN, 2018. 300 p. (rus)

2. Matthews F., Rawlings R. Composite materials [Kompozitnyye materialy]. Moscow: Technosphere, 2004. 408 p. (rus)

3. Structural composite materials [Konstruktsionnyye kompozitsionnyye materialy]. Under the editorship of E. N. Kablova. M.: FSUE VIAM, 2012. 58 p. (rus)

4. Galimov E.R., Abdullin A.L. Modern construction materials for mechanical engineering: textbook [Sovremennyye konstruktsionnyye materialy dlya mashinostroyeniya]. 3rd ed., ster. Saint Petersburg: LAN, 2020. 268 p. (rus)

5. Deborah D.L. Composite materials: science and applications. Functional materials for modern technologies> Printed in Great Britain, 2004. 293p.

6. Shevchenko A.A. Physical chemistry and mechanics of composite materials [Fizikokhimiya i mekhanika kompozitsionnykh materialov]: Textbook for universities. St. Petersburg: PSC "Profession", 2010. 224 p. (rus)

7. Ivanov D.A., Sitnikov A.I., Shlyapin S.D., Ilyin A.A. Composite materials [Kompozitsionnyye materialy]: a textbook for universities. Moscow: Yurayt publishing house, 2019. 253 p. (rus)

8. Tension and compression fibers. [Electronic resource] URL: <http://stilin.ru/struktura-i-svoystva-kompozitov/209-rastyazhenie-i-szhatie-vdol-volon.html> (accessed 30.06.2015)

9. Zubarev Yu.M., Priemyshev A.V. Features of wear of tool materials during mechanical processing by cutting blanks From polymer composite materials [Osobnosti iznashivaniya instrumentalnykh materialov pri mekhanicheskoy obrabotke rezaniyem zagotovok iz polimernykh kompozitsionnykh materialov]. High-tech technologies in mechanical engineering. 2018. No. 7 (85). Pp. 27–31. (rus)

10. Yaroslavtsev V.M. Cutting processing of polymer composite materials [Obrabotka rezaniyem polimernykh kompozitsionnykh materialov]: textbook. manual Moscow : publishing house of Bauman

Moscow state technical University, 2012. 180 p.: (rus)

11. Aronson R. Modern materials in mechanical engineering: their features and applications. R. Aronson. Manufacturing Engineering, 2002. V. 127, no. 3. Pp. 123–136

12. Gladkov S.O. Physics of composites [Fizika kompozitov]: textbook for universities. 2nd ed., ISPR. and add. Moscow: Yurayt publishing house, 2020. 332 p. (rus)

13. Parfeneva I.E. Technology of structural materials [Tekhnologiya konstruksionnykh materialov]: Textbook. Moscow: Textbook, 2009. 198 p.

14. Rychkov D.A., Yanushkin, A.S. Technology of mechanical processing of composite materials [Tekhnologiya mekhanicheskoy obrabotki kompozitsionnykh materialov]: monograph. Stary Oskol: Thin science-intensive technologies, 2017. 224 p. (rus)

15. Titova I.V., Kiselev I.S. Advantages and disadvantages of composite materials [Dostoinstva i nedostatki kompozitsionnykh materialov]. Science and education in modern conditions: materials of the international scientific conference. Voronezh: Voronezh state agrarian University named after Emperor Peter I, 2016, Pp. 307–313. (rus)

#### Information about the authors

**Titova, Irina V.** PhD, Assistant Professor. E-mail: [titovair@yandex.ru](mailto:titovair@yandex.ru). Voronezh state agrarian University named after Emperor Peter I. Russia, 394087, Voronezh, Michurina str., 1

**Konoplin, Alexey N.** PhD, Assistant Professor. E-mail: [aleksejj-konoplin@rambler.ru](mailto:aleksejj-konoplin@rambler.ru) Voronezh state agrarian University named after Emperor Peter I. Russia, 394087, Voronezh, Michurina str., 1

---

Received 20.09.2020

#### Для цитирования:

Титова И.В., Коноплин А.Н. Совершенствование технологического процесса механической обработки с разработкой конструкции резца для чистового точения // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2020. № 10. С. 84–90. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-10-84-90

#### For citation:

Titova I.V., Konoplin A.N. Improvement of technological process of machining with the design of the cutter for finish turning. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2020. No. 10. Pp. 84–90. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-10-84-90