

Научная статья
Статья в открытом доступе
УДК 621.357.74:76
doi: 10.30987/2782-5957-2022-5-13-21

ОСОБЕННОСТИ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ ЛЕЗВИЙНЫМИ ИНСТРУМЕНТАМИ

Владимир Александрович Скрябин¹✉

¹ Пензенский государственный университет, г. Пенза, Россия
¹ e-mail: vs_51@list.ru; <https://orcid.org/0000-0001-7156-9198>

Аннотация

Целью работы является выбор материалов режущей части инструментов и назначение режимных параметров с учетом свойств полимерных материалов, характеризующих их обрабатываемость. Задачи, решению которых посвящена статья, заключается в экспериментальных исследованиях пути расширения технологических возможностей обработки резанием полимерных материалов. Методы исследования: экспериментальные исследования проводились на базе основных положений технологии машиностроения, теории упругости и пластичности. Экспериментальные исследования проводились по стандартным методикам в производственных и лабораторных условиях с использованием аттестованной контрольно-измерительной аппаратуры. Полученные данные обрабатывались с

помощью средств вычислительной техники и представлялись в виде эмпирических зависимостей, удобных для практического применения. Новизна работы заключается в проведении экспериментальных исследований по выбору материалов режущей части инструментов и их конструктивных особенностей и геометрических параметров, а также в получении режимных параметров процесса обработки деталей из полимерных материалов.

Выводы: На основании экспериментальных исследований выбраны пути расширения технологических возможностей обработки резанием полимерных материалов.

Ключевые слова: обработка, резание, детали, конструкции, инструменты, параметры.

Ссылка для цитирования:

Скрябин В.А. Особенности обработки деталей из полимерных материалов лезвийными инструментами / В.А. Скрябин // *Транспортное машиностроение*. – 2022. – № 5. – С. 13–21. doi: 10.30987/2782-5957-2022-5-13-21.

Original article
Open Access Article

FEATURES OF MACHINING PARTS MADE OF POLYMER MATERIALS WITH EDGE TOOLS

Vladimir Aleksandrovich Scryabin¹✉

¹ Penza State University, Penza, Russia
¹ e-mail: vs_51@list.ru; <https://orcid.org/0000-0001-7156-9198>

The study objective is to select the tool cutting part materials and to assign the operating parameters taking into account the properties of polymer materials that characterize their machinability. The problems to which the paper is devoted are experimental studies of ways to expand the technological capabilities of cutting polymer materials. Research methods: experimental studies are conducted on the basis of the main provisions of the engineering technology, the theory of elasticity and plasticity. Experimental studies are carried out according to standard methods in production and

laboratory conditions with the use of certified control and measuring equipment. The obtained data are processed using computational techniques and presented in the form of empirical dependencies convenient for practical application. The novelty of the work consists in conducting experimental studies of choosing materials for the tool cutting parts and their design features and geometric parameters, as well as in obtaining the operating parameters of machining parts made of polymer materials.

Conclusions: On the basis of experimental studies, the ways of expanding the technological capabilities of cutting polymer materials are chosen.

Reference for citing:

Scriabin V.A. Features of machining parts made of polymer materials with edge tools. Transport Engineering. 2022;5:13-21. doi: 10.30987/2782-5957-2022-5-13-21.

Введение

В современном высокотехнологичном машиностроительном производстве при изготовлении деталей из полимерных материалов происходит изменение их размеров и формы. Полимерные материалы обладают свойствами и особенностями, которые отличают их от традиционных конструкционных материалов (металлических сплавов). Это приводит к необходимости разработки новых конструкций металлообрабатывающих инструментов и выбору материалов их режущей части, а

Материалы, модели, эксперименты и методы

Экспериментально установлено, что во многих случаях детали с высоким качеством поверхностного слоя могут быть получены только механической обработкой: точением, сверлением, зубофрезерованием и другими методами, которые большей частью зависят от используемого технологического оборудования и инструментов с различными конструктивными и геометрическими параметрами. Основными особенностями конструкционных полимерных материалов, определяющими специфику их механической лезвийной обработки с оптимальными режимами резания, являются: низкая температура плавления, вызывающая подплавление при повышенном трении инструмента; упругость материала, вызывающая изменение размеров, отверстий при обработке (сверление, зенкерование и др.) и незначительные силы резания. Из-за плохой теплопроводности и относительно низкой температуры плавления термопластов, необходимо обеспечить максимальный теплоотвод при механической обработке, чтобы избежать повышение температуры обрабатываемой детали. Это позволяет свести к минимуму тепловую перегрузку полимерных материалов (изменение цвета и даже подплавление поверхности). Возникающие силы резания

Keywords: machining, cutting, parts, structures, tools, parameters.

также режимных параметров механической обработки резанием заготовок. Все это заключается в направленном изменении состояния обрабатываемого материала с целью обеспечения оптимальных условий для получения необходимого качества обработанных поверхностей деталей. Обработка резанием является необходимой, широко распространенной и одной из ответственных операций в технологическом процессе производства.

при механической обработке конструкционных материалов значительно меньше, чем при обработке металлов, поэтому необходимо уменьшать зажимные усилия детали. В силу того, что детали из пластмасс являются не такими жесткими, как металлические, их следует фиксировать соответствующим образом во избежание прогибов. Для обеспечения качества механической обработки деталей, получаемых из прутков, отливок методом экструзии и прессования, их обработку можно производить на универсальных металлорежущих станках, автоматах и полуавтоматах, на специализированных токарных станках и станках с ЧПУ. В качестве инструментального материала при изготовлении режущих пластин для резцов чаще всего используются быстрорежущие стали, металлокерамические твердые сплавы, природные и синтетические алмазы [1, 2, 6-8]. Как показали экспериментальные исследования, при прерывистом точении деталей из термопластов применяются резцы с инструментальными пластинами из быстрорежущей стали, доведенные при их заточке эльборовыми кругами. Они обеспечивают шероховатость обработанной поверхности пластмасс $Ra = 0,8$ мкм при удовлетворительной стойкости инструмента. Для обработки пластмасс, об-

ладающих повышенными абразивными свойствами (например, полистирол с наполнителем из двуокиси титана), применяют резцы, оснащенные режущими пластинами из твердых сплавов группы ВК. Иногда при обработке терморезистивных пластмасс, имеющих значительные механические характеристики, используют резцы, оснащенные пластинами из твердых сплавов групп ТК и ТТК. Проведенными исследованиями установлено, что при обработке вышеуказанных материалов износостойкость резцов с режущими пластинами группы ВК в шесть раз выше резцов с пластинами группы ТК, так как теплопроводность первых в 1,6...2,6

Результаты

Инструменты для токарной обработки по форме и назначению аналогичны резцам, применяемым для обработки металлов. При выборе геометрических параметров данных инструментов имеются определенные трудности, так как свойства пластмасс в различных направлениях нестабильны и могут отличаться даже в пределах одной детали в зависимости от того, каким образом проводится резание – вдоль слоев наполнителя или перпендикулярно им. Наибольшее влияние на стойкость резцов оказывает величина заднего угла. Она должна быть максимальной, так как с увеличением α уменьшается воздействие упруго восстановленного материала после прохождения режущего инструмента. Однако чрезмерное увеличение α недопустимо из-за снижения теплоотводящей способности режущего клина инструмента. При обработке пластмасс наиболее эффективным является задний угол α , изменяющийся в диапазоне 15...20° [6].

Передняя поверхность резцов должна быть полированной и не иметь фасок и выкружек, способствующих завиванию стружки. Величина переднего угла выбирается равной 10...20° и 0...5° при точении слоистых пластмасс соответственно вдоль слоев наполнителя или перпендикулярно им. При обработке термопластичных полимеров, имеющих однородную структуру без наполнителя, например, органического стекла, винилпласта, оптимальное значение $\gamma = 10...20^\circ$, а при точении терморезистив-

раза выше. Особо следует отметить, что точение резцами с режущими вставками из синтетических алмазов обеспечивает максимальную производительность и наименьшую шероховатость поверхности при высокой стойкости инструмента, так как алмаз из всех инструментальных материалов имеет самую высокую твердость, низкий коэффициент трения и позволяет затачивать режущие кромки с минимальным радиусом округления. Вместе с тем алмазы обладают низким сопротивлением изгибу, и поэтому, применение инструментов с режущими вставками из синтетических алмазов при прерывистом резании нецелесообразно.

ных материалов $\gamma = 0...10^\circ$. Применение резцов с $\gamma > 20^\circ$ и $\gamma < -5^\circ$ не рекомендуется, так как при работе инструментов со значениями вышеуказанных передних углов образуется стружка надлома, и резко возрастает шероховатость обработанной поверхности. Величина главного угла в плане $\phi = 30...60^\circ$ обеспечивает получение достаточно малой величины шероховатости. Значения $\phi < 30^\circ$ не рекомендуются, так как при этом возрастают радиальные силы P_y , что может привести к искажению формы детали и появлению вибраций. Увеличение угла ϕ с 10 до 25° приводит к возрастанию высоты неровностей на обработанной поверхности в 1,2...1,7 раза. Вспомогательный угол в плане ϕ_1 обычно выбирается в пределах 12...15°. Чтобы сохранить массивность головной части резца, обеспечив тем самым улучшенный теплоотвод из зоны резания, и достичь малой величины шероховатости обработанной поверхности, необходимо на резце предусматривать зачистное лезвие с $\phi_0 = 0^\circ$ на фаске $f = 1...2$ мм. Режимные параметры резания при точении деталей из полимерных материалов необходимо назначать исходя из максимальной производительности, обеспечивающей высокую стойкость резцов и требуемое качество обработанной поверхности. Ранее указывалось [7], что на износ и стойкость резцов главное влияние оказывают скорость резания, а затем подача и глубина. Поэтому при выборе режима резания сначала выбирают глубину реза-

ния, затем подачу и скорость резания, исходя из методики назначения режима резания при точении металлических деталей. Так, при назначении глубины резания, учитывают величину припуска, жесткость детали, вид точения и т.д. Для выбора величины подачи при чистовом точении в первую очередь принимают во внимание возможность получения заданной шероховатости обработанной поверхности, а при черновой обработке можно назначать максимальную подачу. Скорость резания V выбирается по таблицам или рассчитывается по эмпирическим формулам, а затем определяется частота вращения детали n по зависимости:

$$n = 1000 V / (\pi D),$$

где n – частота вращения шпинделя с заготовкой, V – скорость резания, D – диаметр обрабатываемой заготовки.

После этого n корректируют по паспорту станка и находят фактическую скорость резания V_f . При обработке деталей из полимерных материалов на станках с ЧПУ коррекция частоты вращения не производится. Технологические режимы резания в зависимости от условий обработки и видов полимерных материалов назначаются в соответствии с проведенными экспериментами следующим образом: при черновом точении: глубина резания $t = 3,0 \dots 5,0$ мм; подача $S = 0,1 \dots 0,5$ мм/об; скорость резания $V = 80 \dots 160$ м/мин ($Ra = 6,3 \dots 12,5$ мкм); при полустачковом и чистовом точении: $t = 0,5 \dots 1,0$ мм; $S = 0,05 \dots 0,2$ мм/об; $V = 170 \dots 300$ м/мин ($Ra = 0,8 \dots 3,2$ мкм) [7, 8].

Определенную сложность представляет получение точностных параметров деталей из полимерных материалов. На размерную и угловую точность деталей влияют погрешности, появляющиеся в результате механической обработки и от воздействия внутренних остаточных напряжений, температурные погрешности, а также погрешности, возникающие под действием окружающей среды. Погрешности механической обработки при точении возникают из-за износа инструмента, упругих деформаций технологической системы и неточности оборудования. Погрешности, вызываемые остаточными внутренними напряжениями, выявляются

не сразу после обработки детали, а спустя несколько суток. Чтобы уменьшить их влияние на качество готовой детали, необходимо проводить после выполнения черновых операций термическую обработку. Для различных материалов термическая обработка осуществляется по-разному. Например, текстолитовые детали после черновой обработки выдерживают в сушильном шкафу в течение 48 ч при постоянной температуре 323 К, а затем вместе со шкафом охлаждают до комнатной температуры. Детали из термопластичного фторопласта и капрона проходят термическую обработку со снятием внутренних напряжений за счет погружения их в кипящую воду или масло. Этот процесс сопровождается изменением размеров детали, которые необходимо учитывать при назначении припуска на окончательную обработку. Ранее указывалось, что коэффициент линейного расширения полимерных материалов в несколько раз выше, чем металлов. Поэтому, чтобы исключить влияние погрешностей в результате температурных деформаций, размеры деталей необходимо контролировать после их охлаждения до температуры окружающей среды. В качестве средств измерения целесообразно использовать высокоточные измерительные приборы (например, микроскоп УИМ-9 и др.), которые уменьшают погрешности измерения. При определении размеров деталей, имеющих допуск, соизмеримый с точностью измерительного инструмента, бракованные детали могут пропускаться как годные. Точность размеров деталей из пластмасс может нарушаться и в процессе их хранения вследствие поглощения ими влаги окружающей среды. Так, например, хранение деталей из фенoplastов при повышенной влажности вызывает изменение линейных размеров на 0,2 %. Допуски при обработке деталей из термопластов значительно больше, чем допуски при обработке металлических деталей. Причинами этого являются: значительно более высокий коэффициент теплового расширения полимеров, объемное расширение в силу влагопоглощения (в основном для полиамидов) и возможность деформации из-за возникновения остаточных внут-

ренных напряжений во время и после обработки. Последнее явление в основном проявляется для деталей, где обработка происходит асимметрично или в случае больших изменений поперечного сечения обрабатываемой детали. В таких случаях термообработка является необходимой (для снижения остаточных напряжений) после предварительной обработки и перед конечной стадией изготовления детали. Основное правило, которое действует для деталей, подвергаемых токарной или фрезерной обработке, это соблюдение допуска $0,1...0,2$ % от номинального размера, которое может быть применено без особых специальных предосторожностей (минимальный допуск для малых размеров составляет $0,05$ мм). Достаточно часто детали, изготавливаемые из полимерных материалов, подвергаются сверлению. Оно может осуществляться либо на металлорежущих сверлильных станках, либо на специальных полуавтоматах и станках с ЧПУ. Выполнение операции сверления имеет ряд особенностей, которые обусловлены свойствами полимерных материалов:

1) если к равным объемам полимерных материалов и металла подвести одинаковое количество тепла, то температура полимерных материалов будет выше. В то же время теплопроводность полимеров значительно ниже теплопроводности металла. Это приводит к тому, что в зоне обработки пластмасс возникают высокие температуры и выделяемое при резании тепло (от $99,2$ до $99,8$ %) переходит в инструмент;

2) смолистая составляющая пластмасс под действием теплоты резания размягчается, переходит в полужидкое состояние, обволакивает рабочие поверхности зубьев инструмента, что приводит к появлению прижогов и дефектов на обработанной поверхности детали. Применять при этом охлаждающую жидкость чаще всего нельзя, так как полимерные материалы поглощают влагу;

3) многие полимерные материалы имеют составляющие, обладающие сильными абразивными свойствами, под действием чего износ инструмента протекает

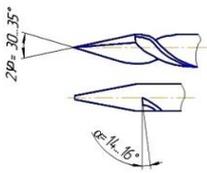
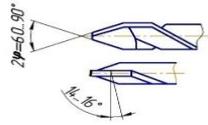
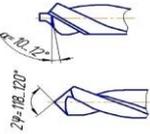
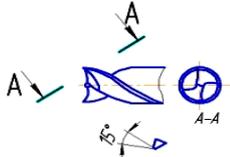
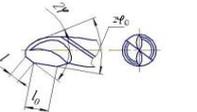
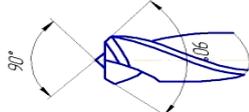
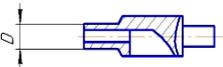
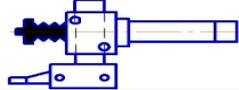
преимущественно по задним его поверхностям у уголков;

4) из-за высокого коэффициента теплового расширения и упругого последействия диаметр отверстия детали получается меньше, чем диаметр инструмента, например, сверла, зенкера, то есть. происходит его усадка, величина которой доходит до $0,05...0,1$ мм. При обработке стальных материалов наблюдается явление разбивания отверстий. Усадка увеличивает трение между сверлами и обработанной поверхностью, что ухудшает внешний вид отверстия и повышает силу резания и крутящий момент. Для получения отверстий в деталях из полимерных материалов рекомендуется применять такие инструменты, как сверла, инструментальный материал, конструкция и некоторые геометрические параметры режущей части которых приведены в таблице.

Анализ конструкции и геометрических параметров сверл (табл.) показывает, что некоторые из них отличаются от сверл, применяемых при обработке металлических деталей, формой заточки режущей части и геометрическими параметрами (табл., № 1...3,5), а такие сверла, как № 4, 6...9, являются специальными. Ту или иную конструкцию сверла, его материал, форму заточки режущей части выбирают с учетом структуры и свойств обрабатываемого материала, диаметра и глубины просверливаемого отверстия, требований к качеству обрабатываемой поверхности. Например, чтобы исключить появление сколов и вспучиваний материала на выходе и входе сверла при сверлении слоистых полимеров, следует применять сверла с подрезающими кромками (табл., № 4) или сверла с углами $2\varphi = 30...40^\circ$ (табл., № 1). Обработка отверстий в деталях толщиной до 15 мм из материалов типа пенопласта и его аналогов производится путем прошивания специальной тонкостенной коронкой (табл., № 7). Для сверления отверстий диаметром более 30 мм и толщиной не более 10 мм используют циркулярные вырезные резцы с направляющей (табл., № 9) или алмазные трубчатые сверла коронки (табл., №8).

Конструкции и геометрические параметры сверл для обработки деталей
из полимерных материалов

Designs and geometric parameters of drills for machining parts made of polymeric materials

№ пп	Режущая часть сверла	Материал режущей части сверла	Вид обрабатываемых пластмасс
1		P12, P18, P6M5	Порошковые с наполнителем из древесной муки и целлюлозы
2		BK6, BK5M, BK8	Порошковые с наполнителем из стекла, кварца, слюды, стеклопластика
3		P12, P18, P6M5	Органическое стекло, текстолит
4		P12, P6M5	Слоистые полимерные материалы
5		P12, P18, P6M5	Текстолит, асбоцемент, карболит, стеклотекстолит
6		P12, P18, P6M5	Стеклопластики
7		У10А, У12А	Пенопласт
8		Алмаз, АСП, АСВ	Стеклотекстолиты
9		P12, P18, P6M5, BK6	Текстолит, гетинакс, стеклотекстолиты

По стойкости лучшими являются сверла, оснащенные пластинами из твердых сплавов группы ВК, либо сверла из быстрорежущей стали с двойной заточкой (табл., № 5). Первые особенно эффективны при обработке пластмасс с высокими абразивными

свойствами. Режимы чистовой обработки: стеклопластиков: $S = 0,1 \dots 0,4$ мм/об, $V = 35 \dots 100$ м/мин, стеклотекстолитов: $S = 0,05 \dots 0,1$ мм/об, $V = 100 \dots 120$ м/мин. При сверлении неглубоких отверстий малого диаметра, к качеству которых не предъяв-

ляют высоких требований, применяются перовые сверла. Спиральные сверла, предназначенные для обработки пластмасс, позволяют получать отверстия шероховатостью $Ra = 12,5 \dots 3,2$ мкм и удовлетворительной точности.

Из геометрических параметров сверл на их стойкость, силы резания, температуру и производительность процесса резания наибольшее влияние оказывает двойной главный угол в плане 2ϕ . При меньших его значениях ($2\phi = 30 \dots 60^\circ$) осевая сила и удельная нагрузка на единицу длины режущих лезвий будут минимальными. К тому же при работе такими сверлами на обработанной поверхности отсутствуют сколы и выкрашивания кромок на выходе из отверстия. К недостаткам сверл с малыми углами 2ϕ следует отнести их пониженные теплоотводящие свойства, большую кривизну режущих лезвий у спиральных сверл, а также увеличенное машинное время вследствие продолжительности времени врезания и выхода из отверстия. С увеличением угла 2ϕ до $60 \dots 90^\circ$ перечисленные недостатки для сверл с $2\phi = 30 \dots 60^\circ$ проявляются слабее, но при этом возрастает осевая сила, появляются сколы на кромках отверстия при выходе сверла из материала, происходит «разлохмачивание» волокнистого наполнителя. Поэтому сверла с углом $2\phi > 90^\circ$ для обработки полимерных материалов применяются весьма редко. С целью повышения стойкости сверл целесообразно проводить их двойную заточку с углами при вершине $2\phi = 70^\circ$ и $2\phi = 35^\circ$. Такие сверла хорошо себя зарекомендовали при сверлении материалов с повышенными абразивными свойствами. При этом время на врезание и выход сверл сравнительно невелики, вследствие небольшой длины режущих лезвий. Величину заднего угла необходимо принимать, по возможности, большей, руководствуясь теми же соображениями, как и при назначении задних углов для резца. Передние углы ($\gamma = 0 \dots 15^\circ$) можно выбирать только для сверл перовых и оснащенных твердым сплавом, так как величина передних углов для спиральных сверл зависит от угла наклона винтовых канавок и угла при вершине. Назначение режимов резания при сверлении сводится к выбору подачи и определению ско-

рости резания или по расчетным формулам. Величина подачи назначается с учетом технологических требований, предъявляемых к качеству обработанного отверстия. При сверлении глубоких отверстий на глубину более чем $3D$ количество выходов сверла принимают согласно следующим данным:

Глубина сверления	$3D$	$4D$
$5D$	$6D$	$7D$
Число выходов сверла	1...2	2...3
	2...3	3...4 4...5

Особую сложность представляет сверление отверстий диаметром до 3 мм, выполняемое перовыми и спиральными сверлами. Спиральные сверла имеют малый объем стружечных канавок, что приводит к пакетированию стружки в канавках сверла. При работе перовых сверл стружка плохо отводится из отверстия и к тому же возникает сравнительно большая сила подачи. Поэтому при сверлении отверстий малого диаметра перовыми и спиральными сверлами возникает опасность их поломки, а также наблюдается появление сколов и отслоений материала на выходе сверла из отверстия. Для улучшения процесса обработки отверстий малого диаметра перовыми сверлами рекомендуется толщину перовых сверл делать не более $(0,3 \dots 0,35)$ от диаметра сверла ($d_{св}$); обеспечивать углы заточки $2\phi = 30 \dots 60^\circ$; $\alpha_1 = 20 \dots 25^\circ$; подтачивать до минимума длину переемычки. Для спиральных сверл необходимо принимать средний угол наклона стружечной канавки $\omega = 12^\circ$, $2\phi = 60 \dots 90^\circ$, а частоту вращения шпинделя $50 \dots 158 \text{ с}^{-1}$. Сверление – наиболее распространенная операция при обработке композиционных материалов представляет особую сложность из-за скалывания или даже отслаивания материала при входе и выходе сверла из отверстия. В этом случае перед производственниками ставится непростая задача – не просто получить отверстие с заданными требованиями по точности и шероховатости, но и избежать повреждения поверхности около отверстия [1-5, 9]. Инструменты со вставками из поликристаллического алмаза (PCD) или твердосплавные сверла с алмазным напылением специально разработаны для увеличения жизненного цикла инструмента, поскольку алмаз обладает отличной стой-

костью при обработке различных типов углеродных волокон и пакетной обработки разнообразных материалов, включая титан. Сверление углепластиков может производиться относительно просто, но когда к ним добавляются слои титана, то переход от композита к титану требует корректировки режимов резания для того, чтобы титановая стружка формировалась и транспортировалась, не повреждая поверхность композита. Режущий инструмент должен быть способен обработать оба типа этих очень разных материалов.

Заключение

В современном высокотехнологичном машиностроительном производстве одним из важнейших вопросов является обеспечение требуемой величины шероховатости поверхности деталей из полимеров и точность их обработки лезвийными методами. Рассмотрены особенности выбора материалов режущей части инструментов и их конструктивных и геометрических параметров, а также назначение технологических режимов с учетом свойств деталей из полимерных материалов, характе-

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Муранов А.Н., Мальшева Г.В., Нелюб В.А., Буянов И.А., Чуднов И.В., Бородулин А.С. Исследование свойств полимерных композиционных материалов на основе гетерогенной матрицы. Все материалы. Энциклопедический справочник. 2012; 4:2-6. ISSN 1994-6260.
2. Нелюб В.А. Применение полимерных композиционных материалов в судостроении для ремонта корабельных надстроек. Ремонт, восстановление, модернизация. 2013;5:21-24. ISSN 1684-2561.
3. Malysheva G.V., Bodrykh N.V. Hot-melt adhesive. Polymer Science. Series D. 2011;4(4):301-303.
4. Баурова Н.И., Зорин В.А., Приходько В.М. Технологическая наследственность и идентификация технологических процессов. Все материалы. Энциклопедический справочник. 2015;2:2-7. ISSN 1994-6260.
5. Oxley P.L.B., Roth R.N. Slip-line field analysis for

1. Muranov A.N, Malysheva G.V, Nelyub V.A, Buyanov I.A, Chudnov I.V, Borodulin A.S. Study of properties of polymer composite materials based on heterogeneous matrix. All materials. Encyclopedic reference. 2012; 4:2-6.
2. Nelyub V.A. Application of polymer composite materials in shipbuilding for repair of ship super-

Сверление обычно осуществляют со скоростями резания 100...200 м/мин при низких подачах, в основном 0,02...0,06 мм/об. Диаметр сверла при обработке композитов, как правило, 3...12,7 мм. Стандартные и специальные резцы и сверла, имеющие режущую часть из твердого сплава с алмазным напылением, а также со вставками из поликристаллического алмаза достаточно хорошо подходят для получения качественных отверстий в деталях из полимерных материалов.

ризирующих их обрабатываемость. Анализируя вышеизложенное, можно отметить, что применение новых конструкций резцов и сверл, соответствующих режимных параметров, в сочетании с прогрессивной технологической оснасткой и высокопроизводительным оборудованием позволяет значительно расширить технологические возможности механической обработки резанием труднообрабатываемых полимерных материалов.

- orthogonal machining based upon Experimental flow Fields. Journal of mechanical engineering science. 1972;14(2):85-97.
6. Схиртладзе А.Г., Скрыбин В.А., Борискин В.П. Технология конструкционных материалов: учеб. пособие / [и др.]. Старый Оскол: Тонкие наукоемкие технологии, 2006. 360 с. ISBN 5-94178-2.
7. Григорьев С.Н., Схиртладзе А.Г., Скрыбин В.А. [и др.]. Резание материалов: учебник. Пенза: Приволжский Дом знаний, 2012. 356 с. ISBN 978-5-8356-1274-1.
8. Штучный Б.П. Механическая обработка пластмасс: Справочник. М.: Машиностроение, 1987. 255 с.
9. Обработка материалов на основе углеродного волокна. Техническое руководство. «Sandvik Coromant», 2010. 42 с.

- structures. Ремонт, Восстановление, Modernizatsiya. 2013;5:21-24.
3. Malysheva G.V, Bodrykh N.V. Hot-melt adhesive. Polymer Science. Series D. 2011;4(4):301-303.
4. Baurova N.I, Zorin V.A, Prikhodko V.M. Technological heredity and identification of technological processes. All materials. Encyclopedic reference. 2015; 2:2-7.

- | | |
|--|---|
| <p>5. Oxley PLB, Roth R.N. Slip-line field analysis for orthogonal machining based upon Experimental flow Fields. <i>Journal of Mechanical Engineering Science</i>. 1972;14(2): 85-97.</p> <p>6. Skhirtladze A.G, Scryabin V.A, Boriskin V.P. <i>Technology of structural materials</i>. Stary Oskol: Thin science-intensive technologies; 2006.</p> | <p>7. Grigoriev S.N, Skhirtladze A.G, Scryabin V.A, et al. <i>Cutting materials</i>. Penza: Privolzhsky House of Knowledge; 2012.</p> <p>8. Shgtuchny B.P. <i>Mechanical processing of plastics</i>. Moscow: Mashinostroenie; 1987.</p> <p>9. <i>Processing of materials based on carbon fiber</i>. Technical manual. "Sandvik Coromant"; 2010.</p> |
|--|---|

Сведения об авторах:

Скрябин Владимир Александрович, доктор технических наук, профессор Пензенского государственного университета, 440026, г. Пенза, ул. Крас-

ная, 40, тел. +79603202596, e-mail: vs_51@list.ru; Author ID по Scopus–66036685168, Author ID по РИНЦ–7875-5830, Researcher ID – R-2385-2018.

Scryabin Vladimir Aleksandrovich, Doctor of Technical Sciences, Professor of Penza State University, 40, Krasnaya Street, Penza; phone: +79603202596, e-mail:

vs_51@list.ru; Author ID по Scopus–66036685168, Author ID по RSCI –7875-5830, Researcher ID – R-2385-2018.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья опубликована в режиме Open Access.

Article published in Open Access mode.

Статья поступила в редакцию 19.12.2021; одобрена после рецензирования 25.02.2022; принята к публикации 21.04.2022. Рецензент – Мокрицкий Б.Я., доктор технических наук Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета, член редколлегии журнала «Транспортное машиностроение».

The article was submitted to the editorial office on 19.12.2021; approved after review on 23.02.2022; accepted for publication on 21.04.2022. The reviewer is Mokritsky B.Ya, Doctor of Technical Sciences at Komsomolsk-na-Amure State Technical University, member of the Editorial Board of the journal *Transport Engineering*.