

Особенности обработки точением деталей из полимерных материалов

В.А. СКРЯБИН^{1*}, д-р техн. наук, проф., А.Г. СХИРТЛАДЗЕ², д-р пед. наук, канд. техн. наук, проф.

¹ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет», г. Пенза, 440026, Российская Федерация

²ФГБОУ ВО «Московский государственный технологический университет Станкин», Москва, 127055, Российская Федерация

*E-mail: vs_51@list.ru

DOI: 10.31044/1684-2499-2020-0-6-20-26

Статья поступила в редакцию 22.11.2019

Принята после доработки 17.01.2020

Принята к публикации 11.03.2020

Рассмотрено применение механической обработки точением деталей из полимерных материалов. Обсужден выбор материалов режущей части инструментов и их геометрических параметров, а также назначение технологических режимов и сил резания с учетом свойств полимерных материалов, характеризующих их обрабатываемость. Выявлены отличия процесса механической обработки деталей из полимерных материалов по сравнению с обработкой металлических изделий. Показаны пути расширения технологических возможностей обработки резанием полимерных материалов.

Ключевые слова: обработка точением, деталь из полимерных материалов, выбор материалов режущей части инструментов, назначение технологических режимов, сила резания, свойства полимерных материалов.

К полимерным материалам, получаемым синтетическим (химическим) путем, относятся синтетические смолы, каучуки и резины, волокна и пластические массы, некоторые клеи, лаки, краски, замазки и герметики. Название свое полимерные материалы получили от исходного химического соединения (мономер), используемого для синтеза полимера, с приставкой «поли». Например, из этилена (мономера) образуется полиэтилен, из стирола — полистирол, из хлорвинила — полихлорвинил и т.д. Полимерные материалы в основном подразделяют на три группы: *термопласты*, *слоистые пластики* и *пластические массы*. Структура *термопластов* не изменяется при нагревании, вызы-

вающим переход из твердого состояния в пластическое, поэтому их можно неоднократно перерабатывать. К этой группе относят полиэтилен, полипропилен, поливинилхлорид, полистирол, полиформальдегид, полиакрилаты, полиамиды, фторосодержащие (фторопласт 3 и фторопласт 4) и др. За исключением фторопластов, все другие термопласты поддаются сварке и склейке. *Реактопласты* — это полимеры, которые под действием температуры сначала переходят в пластическое, а затем в твердое неплавкое и нерастворимое состояние. При повторном нагревании такие полимеры не переходят в пластическое состояние, а остаются твердыми и при дальнейшем повышении температуры разлагаются. К этой

группе относятся фенопласты, аминопласты, анилинпласты, эпоксидопласты, силиконопласты, уретанопласты и др. В группу *слоистых пластиков* входит большое число материалов, состоящих из листовых волокнистых наполнителей и полимеров, пропитывающих наполнителей и составов, склеивающих отдельные листы в многослойные пластики. Слоистые пластики используют, главным образом, для производства листовых электроизоляционных материалов различных размеров и толщины, а также изделий со сложной конфигурацией поверхности. К этой группе относят гетинакс, текстолит, асбестотекстолит, древеснослоистые пластики и др. Гетинакс изготавливают из бумаги и бакелита. Бумагу покрывают слоем бакелитового лака, складывают в несколько слоев и прессуют под высоким давлением при повышенной температуре. Под влиянием нагрева бакелит переходит в неплавкое и нерастворимое состояние. При этом получают твердый и прочный листовый материал с высокими изоляционными свойствами, который хорошо подвергается механической обработке (резается, пилится и сверлится). Гетинакс находит широкое применение при изготовлении деталей электрических аппаратов, требующих надежной изоляции и прочности (изоляционных стоек и пр.). Текстолит изготавливают подобно гетинаксу, но основанием служит не бумага, а ткань. Текстолит еще более прочен, чем гетинакс. Некоторые его показатели (например, износостойчивость при трении) выше, чем у металлов, поэтому в ряде случаев текстолит применяют для изготовления таких деталей, как шестерни, вкладыши и т.д. Особо высокими теплостойкостью и изоляционными свойствами обладает стеклотекстолит, изготовленный на основе стеклянной ткани. Для изготовления печатных плат электронной аппаратуры применяют фольгированный гетинакс и стеклотекстолит. Это слоистые пластики, облицованные с одной или двух сторон медной оксидированной фольгой, наносимой при прессовании собранных пакетов пропитанной бумаги или стеклоткани с применением клея. В некоторых случаях используется хромированная фольга или никелевая фольга. Материалы, изготавливаемые на основе синтетических и природных полимеров, называют пластическими массами, причем полимер определяет их основные свойства. В состав пластмассы, кроме полимеров, входят наполнители, пласти-

фикаторы, красители и стабилизаторы. Наполнители существенно влияют на диэлектрические свойства, водопоглощение и теплостойкость пластмассы. Они бывают органического и минерального происхождения. По своей структуре наполнители могут быть порошкообразные (древесная мука, кварцевая мука, слюда, каолин, тальк, графит, металлические порошки, сажа и пр.), волокнистые (асбест, древесная крошка, мелкокрошенная бумага, очесы хлопка, стеклянное волокно и др.) и листовые, или слоистые (бумага, древесный шпон, хлопчатобумажная ткань, стеклянные и асбестовые ткани). Пластификаторы придают большую эластичность пластмассам, увеличивают их относительное удлинение и снижают временное сопротивление разрыву. Красители дают возможность получить необходимую окраску пластмассы и декоративный вид. Стабилизаторы сохраняют требуемые свойства пластмассы в процессе эксплуатации, предохраняя ее от разложения под влиянием тепла и солнца. В ряде случаев пластмасса изготавливается из чистого полимера без каких-либо наполнителей. К числу их принадлежат: органическое небьющееся стекло (полиметилметакрилат), винипласт (листовой материал из хлорвинила), полиэтилен, полистирол, полиамиды и пр. В этих случаях понятия пластмассы и полимера одинаковы. Пластмассы изготавливают в особых формах путем прессования при большом давлении и высокой температуре. При этом получают совершенно готовые, не требующие дальнейшей обработки изделия. Если в пластмассовых изделиях должны быть укреплены детали из других материалов (например, металлические шпильки, втулки и т.д.), то их запрессовывают при изготовлении деталей. Из изоляционных пластмасс наибольшее распространение получили винипласт (пластмасса из хлорвинила), гетинакс (спрессованная бумага, пропитанная фенопластовыми смолами) и стеклотекстолит (стеклянная ткань, пропитанная синтетическими смолами) и пр. Их изготавливают в виде листов, цилиндров и фасонных изделий. Из неметаллических материалов широкое распространение для изготовления различных деталей машин получили пластмассы. К положительным свойствам пластмасс следует отнести их небольшую плотность, удовлетворительную прочность, высокие антифрикционные шумо- и вибропоглощающие свойства, небольшую трудоемкость в изготовлении дета-

лей из них, достаточно высокую антикоррозионную стойкость. Процесс резания пластмасс определяется видами наполнителя и связующего материала, а также технологическим процессом их получения.

По виду наполнителя пластмассы делятся:

1) на композиционные, которые, в свою очередь, подразделяются на порошкообразные (древесная мука, микроасбест), волокнистые (асбестовые и рубленые стеклянные волокна, текстильные волокна) и с наполнителем в виде крошки. К этим видам пластмасс относятся фенопласты, аминопласты, волокнит и другие;

2) на слоистые, наполнителем у которых служат ткани, бумага и древесный шпон. Примерами этих видов пластмасс могут служить текстолит, гетинакс, бакелит, стеклотекстолиты и ориентированные стеклопластики;

3) на литые из чистых смол без наполнителя.

По виду связующего материала пластмассы подразделяются:

1) на термореактивные, у которых связующим веществом являются фенолформальдегидные смолы. Такие смолы применяются для изготовления композиционных и слоистых пластмасс. Кроме того, эти пластмассы под действием теплоты резания в процессе обработки переходят в необратимое неплавкое и нерастворимое состояние, т.е. при нагревании не размягчаются;

2) на термопластические литые, при производстве которых используются смолы. Заготовки из таких пластмасс получают методами литья под давлением, экструзией и другими способами. Под действием повышенной температуры они размягчаются, сохраняя свою плавкость и растворимость, и допускают повторное формование.

Основные механические свойства наиболее распространенных пластмасс зависят главным образом от вида смолы и характера наполнителя. В свою очередь свойства чистых смол определяются ориентацией их молекулярной структуры, а свойства, количество и ориентация наполнителя в наибольшей степени влияют на механические характеристики пластмасс. Прочность отдельных видов древесно-слоистых пластмасс и стеклопластиков приближается к прочности углеродистой стали и иногда превосходит прочность чугуна, бронзы, алюминия, меди. Отмечая положительные свойства пластмасс, необходимо учитывать и целый ряд их недостатков: низкие

теплопроводность и теплостойкость, старение под действием температуры и влажности, ползучесть. Теплопроводность пластмасс в 500—600 раз ниже теплопроводности металлов, а детали из них могут работать в интервале температур от 213 до 473 К. Исключение составляют пластмассы на основе кремний-полимеров и фторопластов, детали из которых могут удовлетворительно работать при температурах до 573—623 К. Старение пластмасс протекает значительно интенсивнее, чем металлов, что приводит к снижению первоначальных механических свойств до 30%. К тому же ползучесть пластмасс выражается гораздо сильнее, чем у металлов. Для того, чтобы оценить свойства пластмасс с позиций обрабатываемости резанием, необходимо ознакомиться с некоторыми вопросами механизма стружкообразования, значениями сил, деформаций и температур, возникающих в процессе резания при различных режимах, а также конструктивными особенностями режущего инструмента [1—6].

Изучение стружек, образуемых в процессе резания пластмасс, как и при обработке металлов, позволяет судить о различных явлениях, возникающих в зоне резания (деформациях, температуре), а также о качестве обработанных поверхностей [1—6]. При обработке слоистых термореактивных пластмасс, обладающих изотропными свойствами, получаются разные виды стружек. Резание вдоль слоев наполнителя сопровождается образованием стружки типа сливной. Прочность такой стружки очень мала. Обработка перпендикулярно слоям наполнителя во всех случаях приводит к образованию стружки надлома, а, следовательно, к прерывистому резанию. Изменение режима резания в данном случае практически не влияет на характер стружкообразования. Вместе с тем, с возрастанием износа инструмента раздробленность стружки надлома увеличивается, цвет ее изменяется, что указывает на резкое возрастание температуры в зоне резания. Стружка надлома образуется также при обработке термореактивных и прессовочных термореактивных пластмасс. В последнем случае стружка состоит из большого количества мелких отдельных частиц и пыли независимо от того, каким инструментом и при каких режимах производится обработка. Образование нароста при обработке указанных материалов не наблюдается. Резание термопластичных пластмасс почти

во всех случаях сопровождается образованием сливной стружки, хотя по мере увеличения подачи может наблюдаться переход от сливной стружки к элементной. Появление элементной стружки во многом определяется количеством выделившейся теплоты и величиной температуры в зоне резания. Если теплота резания достаточна и срезаемый слой размягчается, получается сливная стружка, а если теплоты недостаточно для ее разогрева, то выходит элементная стружка. Следует отметить, что при резании пластмасс стружка образуется главным образом вследствие преодоления упругих деформаций, а упруго сжатый во время резания материал после прохождения режущего лезвия упруго восстанавливается. Величина упругого последствия для соответствующих материалов и режимов резания будет различной, но значительно выше, чем при обработке сталей. В большинстве случаев упругое последствие приводит к возникновению за режущим лезвием инструмента напряжений, которые могут превышать предел прочности обрабатываемых пластмасс и вызывают разрывы и трещины на обработанной поверхности. Установлено [7—11], что при резании пластмасс появляются следующие наиболее характерные типы стружек: непрерывная сливная, непрерывная стружка скалывания, простая и сложная прерывистая стружка скалывания, а также прерывистая с трещинами. При обработке политетрафторэтилена или полиэтилена, обладающих высокой упругостью и большим удлинением при разрушении, с малыми скоростями резания образуется непрерывная сливная стружка. Толщина ее примерно равна глубине резания вследствие того, что деформация стружки преимущественно упругая. При обработке сталей сливная стружка, наоборот, получается вследствие интенсивной пластической деформации. Образование сливной стружки при обработке пластмасс желательно, так как в этом случае при подборе соответствующих режимов резания и геометрических параметров инструментов достигается высокая точность обработки. Непрерывная стружка скалывания соответствует сливной стружке при обработке металлов. Образуется она вследствие скалывания, направленного вдоль плоскости сдвига вследствие малых интервалов между элементами сдвига. Для непрерывной стружки скалывания характерно то, что следы сдвига частично остаются на поверхности стружки, а толщина ее обычно боль-

ше толщины срезаемого слоя. Условия резания и материал, при обработке которого обеспечивается получение стружки данного типа, считаются приемлемыми для достижения высокого качества обработанной поверхности. Если стружка образуется скалывающим действием вдоль плоскости сдвига со значительными интервалами между элементами сдвига, следует ожидать появления обычной прерывистой стружки скалывания. Стружка указанного типа получается, когда напряжения в плоскости сдвига становятся больше предела прочности материала. Обработанная поверхность при этом весьма грубая. В связи с этим следует избегать таких условий обработки, при которых появляется прерывистая стружка скалывания. Крайне нежелательно образование стружек скалывания: сложной прерывистой и прерывистой с трещинами. Первый тип стружки наблюдается, например, при обработке полистирола с отрицательным передним углом в результате сложного напряжения, в котором сжимающие напряжения взаимодействуют с напряжениями сдвига. Второй тип стружки возникает при резании хрупких материалов, например, фенопластов, полиэфиров или эпоксидных смол, а также термопластов инструментами с большими передними углами (γ до 40°) и при большой глубине резания. Опережающая трещина обычно направлена вглубь обрабатываемого материала, что приводит к образованию весьма грубой обработанной поверхности с наличием зазубрин и трещин. В процессе обработки пластмасс на режущий клин инструмента действуют силы, приложенные к передним и задним его поверхностям. Однако соотношение этих сил будет иным, чем при обработке металлов. Вследствие упругого последствия величина сил, действующих по задним поверхностям, превосходит силы, действующие по передней поверхности инструмента. Так как по сравнению с металлами пластмассы обладают более низкими механическими свойствами, силы резания при их обработке значительно меньше, а соотношение P_z , P_x и P_y будет иным. Например, при точении термоактивных и термопластичных пластмасс сила P_z соответственно в 10—15 и 10—20 раз меньше, чем при резании металлов, а сила P_y составляет 85—95% значения силы P_z . С увеличением скорости резания $V_{рез}$ силы резания сначала возрастают, а затем снижаются. Вместе с тем по абсолютной величине изменение сил при различных

скоростях резания настолько мало, что при выводе формул для определения сил резания этими изменениями пренебрегают.

С увеличением глубины резания и подачи силы резания возрастают, особенно заметно с ростом износа инструмента. Например, при точении стеклотекстолита СТ резцом, оснащенным пластинкой твердого сплава ВК2, с $V = 5$ м/с, $s = 0,21$ мм/об, $t = 3$ мм, силы P_z , P_y и P_x с повышением износа резца с h_3 от 0,1 до 0,85 мм соответственно увеличиваются: P_z на 260%, а P_y и P_x на 116%. Эмпирические зависимости P_z , P_y и P_x от износа инструмента имеют вид: $P_z = 118h_3^{0,62}$ Н; $P_y = 465h_3^{1,05}$ Н; $P_x = 289h_3^{1,05}$ Н. Значения сил резания при точении деталей из различных пластмасс в зависимости от s и t приведены в таблице.

На величину сил резания при обработке полимерных материалов оказывают влияние и свойства инструментального материала. Наименьшие значения сил резания наблюдаются при использовании алмазного инструмента. Так, при точении термореактивных пластмасс алмазными резцами силы P_z и P_y уменьшаются соответственно в 2 и 5–6 раз по сравнению с обработкой твердосплавными резцами. Снижению сил при резании алмазными инструментами способствует весьма низкий коэффициент трения алмаза, значительно меньший радиус округления режущих лезвий, а следовательно, и меньшее влияние упругого последействия обработанной поверхности пластмасс на заднюю поверхность режущего клина инструмента. По тем же причинам увеличение износа алмазного инструмента в меньшей степени сказывается на росте сил резания. Значительное влияние на силы резания при обработке некоторых полимерных материалов оказывают геометрические параметры

резца и, в частности, величина переднего угла. Так, при обработке слоистого фенопласта на бумажной основе согласно проведенных экспериментальных исследований [7, 10, 11] отмечается следующее:

- 1) с увеличением переднего угла силы резания уменьшаются;
- 2) резец с отрицательным передним углом в процессе резания сжимает обрабатываемый материал, а с положительным — растягивает его, что изменяет направление сил резания P_y ;
- 3) для каждого материала имеется критический передний угол, при котором сила P_y равна нулю. Этот угол, как правило, является оптимальным по величине, так как обеспечивает наибольшую точность обработанных поверхностей. Объясняется это тем, что направление равнодействующей силы резания совпадает с направлением резания. При этих условиях деформация материала будет минимальной. При этом эффективность резания достигается применением режущего инструмента с критическим передним углом или углом, превышающим его критическое значение. Значение критического переднего угла для различных видов пластмасс определяется экспериментально.

Как при обработке металлов, так и при обработке резанием пластмасс источником образования теплоты является работа, затрачиваемая на деформацию срезаемого слоя, на преодоление сил трения между обрабатываемым материалом и стружкой о заднюю и переднюю поверхности зуба инструмента. К тому же теплота резания в обоих случаях распределяется, в основном, между инструментом, деталью и стружкой. Однако величины составляющих баланса тепла при резании пластмасс и металлов различаются весьма существенно. Так, сливная стружка уносит большую часть тепла, чем стружка надлома. Основная же часть теплоты резания переходит в режущий инструмент из-за низкой теплопроводности пластмасс, особенно термореактивных. И хотя твердые сплавы могут без заметного ухудшения режущих свойств выдерживать температуру 1173–1223 К, тем не менее, концентрация в инструменте основной доли, выделяющейся при резании пластмасс теплоты, способствует интенсивному его износу. Теплота резания в значительной степени изменяет свойства обрабатываемого материала. Если учесть,

Значение сил резания

Обрабатываемый материал	Формулы для определения P_z , Н
Органическое стекло	$83f^{0,98}s^{0,6}$
Полистирол ПТ-3 с дву- окисью титана	$3653f^{0,84}s^{0,58}t^{-0,04}$
Волокнит	$96f^{0,77}s^{0,43}$
Аминопласт	$93f^{0,62}s^{0,43}$
Фенопласт	$845ts^{0,34}$
Гетинакс	$Cpf^{0,98}s^{0,96}$
Стеклотекстолит: СТ	$186f^{0,82}s^{1,08}$

что теплостойкость большинства конструкционных пластмасс не превышает 573 К, то при температуре 343—373 К в случае обработки термопластичных пластмасс наблюдаются оплавление обрабатываемой поверхности и налипание срезаемой стружки на инструмент. Обработанная поверхность получается грубой, с задирами и с сильно искаженной формой и размерами, а в отдельных случаях процесс резания становится вообще невозможным.

Снижение температур в зоне резания при обработке пластмасс достигается:

1) за счет уменьшения сил трения между обрабатываемым материалом и задней поверхностью клина инструмента, а также между стружкой и передней поверхностью клина при применении тщательно полированного инструмента;

2) в результате использования алмазного инструмента, который имеет значительно меньший коэффициент трения с обрабатываемым материалом по сравнению с другими инструментальными материалами и более высокий коэффициент теплопроводности;

3) вследствие применения инструментов с критическим по величине передним и большим задним углами, при работе которых затрачивается минимальная работа, а следовательно, будет и минимальное тепловыделение;

4) из-за охлаждения сжатым воздухом или охлаждающей жидкостью, совместимой с видом пластмассы. При этом следует помнить, что некоторые пластмассы поглощают влагу, и в таких случаях применение охлаждающих жидкостей исключается;

5) путем подбора соответствующих режимов резания. При этом наиболее сильное влияние на температуру в зоне обработки оказывает скорость резания. Полученные эмпирические зависимости температуры от режимов резания при точении различных пластмасс по данным имеют вид:

- для гетинакса $\theta \text{ }^{\circ}\text{C} = C_{\theta} V^{0,28} S^{0,23} t^{0,22}$;
- фенопласта К — $(18-20) \text{ }^{\circ}\text{C} = C_{\theta} V^{0,32} S^{0,24} t^{0,17}$;
- аминопластов $\theta \text{ }^{\circ}\text{C} = C_{\theta} V^{0,28} S^{0,24} t^{0,21}$.

В качестве инструментальных материалов для обработки пластмасс обычно используются быстрорежущие стали, твердые сплавы группы ВК и алмазы. Износ инструментов из вышеназванных материалов в основном протекает по задней поверхности и по своей природе является

абразивно-механическим. Объясняется это тем, что силы, приложенные к передней поверхности, очень малы вследствие низкой твердости пластмасс и не могут вызвать ее существенного истирания. В то же время из-за повышенной упругости пластмасс силы, действующие со стороны задних поверхностей клина, значительны и инструмент изнашивается очень активно. Отсутствие износа режущего клина инструмента по передней поверхности и равномерный монотонный износ по задней исключают катастрофический период их износа, как это бывает у инструментов, работающих по металлу. Вместе с тем периоды приработки и нормального износа характерны также и для инструментов, применяемых при обработке пластмасс. Износ инструментов, быстрорежущих и твердосплавных, при низких скоростях резания происходит в основном из-за абразивного истирания режущих зубьев. С увеличением скоростей резания растут количество выделившейся теплоты и интенсивность износа. У твердосплавных инструментов при соответствующих условиях обработки может наблюдаться хрупкое выкрашивание частиц твердого сплава. Изменение в определенном диапазоне составляющих режима резания по-разному влияет на тепловыделение и стойкость инструмента при обработке пластмасс. Поэтому математические зависимости стойкости инструмента от режимов резания, полученные различными исследователями, имеют значительные расхождения. Режущая способность алмазных инструментов значительно выше, чем твердосплавных и быстрорежущих. Износ алмаза происходит по задним поверхностям с образованием на них площадок с множеством микрокромки. В процессе резания и нарастания износа режущие микрокромки постоянно обновляются и острота их, а следовательно, и силы резания, практически не изменяются. Особенно высокую стойкость имеют инструменты из синтетических поликристаллических алмазов, для которых развитие микротрещин на площадках износа локализовано границами отдельных зерен и блоков, в то время как для природных монокристаллов алмаза микротрещины могут распространяться на весь кристалл. Подобный износ инструментов из синтетических алмазов определяет их высокую стойкость и долговечность. В силу этого при использовании синтетических алмазов для обработки пластмасс можно рекомендовать

максимально допустимые скорости резания. Как указывалось ранее, для инструментов, обрабатывающих пластмассы, отсутствует период катастрофического износа, а потому в качестве критерия затупления может быть рекомендован только технологический критерий. Он соответствует такой величине износа инструмента, при которой отклонения от геометрической формы и качественные характеристики обработанных поверхностей становятся выше допустимых техническими требованиями к детали.

К особенностям, характерным для обработки полимерных материалов точением, относятся следующие:

1) склонность ряда пластмасс к скалыванию в процессе резания, что приводит к выкрашиванию поверхностей заготовок на входе и выходе инструмента и увеличению шероховатости поверхности или так называемому «серебрению» их. Поэтому режущий клин инструмента должен иметь большее значение передних и задних углов, а износ по задней грани инструмента, например, сверл, не должен превышать 0,1–1,5 мм, фрез — 0,4–0,5 мм при черновой и 0,2–0,3 мм при чистовой обработках. Увеличение износа способствует росту шероховатости обработанной поверхности;

2) неоднородность строения пластмассы и различная твердость ее составных частей затрудняют получение малой шероховатости обработанной поверхности. В силу этого величина износа инструмента, применяемого при их обработке, лимитируется, как правило, технологическим критерием затупления и, прежде всего, увеличением шероховатости обработанной поверхности;

3) сильное абразивное воздействие на инструмент при обработке отдельных видов полимерных материалов, например, стеклотекстолита, имеющего составляющие с повышенными абразивными свойствами. Резец при обработке таких материалов изнашивается сильнее, чем при обработке сталей 30, 50 и чугуна;

4) пониженная теплопроводность полимерных материалов, обуславливающая плохой теплоотвод из зоны резания и, следовательно, резкий нагрев клина режущих инструментов, а также оплавление, задиры и разрушение обработанной поверхности;

5) интенсивное пылеобразование, особенно при обработке термореактивных пластмасс, что

требует применения специальных отсасывающих устройств;

6) трудность применения СОТС из-за гигроскопичности отдельных видов пластмасс или из-за образования пасты из пыли и СОТС, которая налипает на поверхности деталей станка, вызывая их коррозирование, или попадает на инструмент, затрудняя обработку им. Поэтому при обработке пластмасс чаще всего для охлаждения применяют сжатый воздух;

7) сложность получения точностных характеристик полимерных деталей из-за большого упругого прогиба, повышенного коэффициента линейного расширения, интенсивного износа инструмента и других факторов. Кроме того, при выполнении различных видов технологических операций наблюдается изменение физико-механических свойств деталей в процессе их резания.

Список литературы

1. Муранов А.Н., Малышева 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. С. 2–6.
2. Нелюб В.А. Применение полимерных композиционных материалов в судостроении для ремонта корабельных надстроек // Ремонт, восстановление, модернизация. 2013. № 5. С. 21–24.
3. Malysheva G.V., Bodrykh N.V. Hot-melt adhesives // Polymer Science. Series D. V. 4. No 4. P. 301–303.
4. Баурова Н.И., Зорин В.А., Приходько В.М. Технологическая наследственность и идентификация технологических процессов // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2015. № 2. С. 2–7.
5. Oxley P.L. B., Roth R.N. Slip-line field analysis for orthogonal machining based upon Experimental flow Fields // The Journal of mechanical engineering science. 1972. V. 14. No 2. P. 85–97.
6. Схиртладзе А.Г., Скрыбин В.А., Борискин В.П. и др. Технология конструкционных материалов. Старый Оскол: ООО «Тонкие наукоемкие технологии», 2006. 360 с.
7. Григорьев С.Н., Схиртладзе А.Г., Скрыбин В.А. и др. Резание материалов. Пенза: АННОО «Приволжский Дом знаний», 2012. 356 с.
8. Штучный Б.П. Механическая обработка пластмасс. М.: «Машиностроение», 1987. 255 с.
9. Обработка материалов на основе углеродного волокна. Техническое руководство. «Sandvik Coromant», 2010. 420 с.
10. Skryabin V.A. Treatment of Products of Polymeric Materials // Polymer Science, Series D. 2016. V. 9. No 3. 2016. P. 331–337.
11. Скрыбин В.А. Механическая обработка резанием деталей из полимерных материалов // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2018. № 7. С. 40–47.
12. Баурова Н.И., Макаров К.А. Механическая обработка деталей машин из полимерных композиционных материалов // Технология металлов. 2017. № 2. С. 15–19.