

УДК 621.923

Особенности обработки полимерных композиционных материалов

В.А. Скрябин, д-р техн. наук, **Н.В. Сорокина**, канд. техн. наук

Пензенский государственный университет (г. Пенза, 440026, Россия)

E-mail: vs_51@list.ru

DOI: 10.31044/1994-6260-2026-0-4-44-47

Статья поступила в редакцию 05.03.2025

После доработки 20.08.2025

Принята к публикации 10.12.2025

В статье рассмотрены особенности механической обработки резанием деталей из полимерных композиционных материалов. Проведен выбор материалов режущей части инструментов, ее геометрических параметров и назначены технологические режимы с учетом свойств полимерных композиционных материалов, характеризующих их обрабатываемость. Выявлены отличия процесса механической обработки деталей из полимерных композиционных материалов по сравнению с обработкой металлических изделий.

Ключевые слова: механическая обработка резанием, детали из полимерных композиционных материалов, геометрические параметры и режимы резания.

Полимерные композиционные материалы (композиты) являются соединением двух или нескольких материалов на основе разных видов пластмасс, которые служат в таких материалах матрицей. Другими элементами композитов (ПКМ) являются разнообразные армирующие или декоративные составы, которые придают композиту определенные свойства и являются механической преградой на пути распространения трещин в процессе деформации. Механическая обработка композиционных материалов достаточно сильно отличается от механической обработки металлов за счет их индивидуальных особенностей. При обработке деталей из композитов

часто требуется полное переосмысление методов обработки, используемого режущего инструмента, способа закрепления заготовки, а в некоторых случаях даже применение специализированного оборудования и технологической оснастки. Одним из наиболее востребованных композиционных материалов обрабатываемых режущим инструментом деталей является стеклотекстолит [1—5].

Стеклопластики — полимерные материалы, армированные стеклянными волокнами. Связующим элементом (матрицей) в стеклопластиках являются главным образом термореактивные синтетические смолы (фенольные, эпоксидные, поли-

эфирные, полиамидные, фурановые и др.) и термопласты (полиамиды, поликарбонаты, полипропилен и др.).

Существует несколько марок стеклотекстолита. Между собой они различаются лишь несколькими параметрами. При этом среди общих характеристик отмечают высокую прочность, повышенную устойчивость к влаге, хорошую теплопроводность, нетоксичность. Здесь также стоит выделить устойчивость к возгоранию, биологическую стойкость, невосприимчивость к другим негативным воздействиям. Заготовки из армированного стеклянными волокнами стеклопластика используются для производства: шестерен, подшипников, шайб, прокладок, деталей металлорежущих станков, печатных плат и пр.

Стеклотекстолит производится в листовом виде. Толщина готового листа может варьироваться в диапазоне 0,5—100 мм. Кроме того, материал выпускают в виде различных втулок, зубчатых колес или стержней разного диаметра и длины. Стеклотекстолит состоит из нетканого полотна, которое пропитывают специальной смолой и прессуют под высоким давлением.

Значения минутной стойкости инструмента

Материал резцов	Стеклотекстолит СТ	Фенопласт К-18-2
BK2	18	—
BK3M	13	20
BK6M	12,5	10,5
BK4	11,8	14
BK6	11	11
BK8	4	5
T30K4	4,3	1
T15K6	3,8	5,5
T5K12B	2	—
T5K10	1,9	2
TT10K8A	1,7	—
TT7K12	1,6	—
T14K8	1,5	6

ем. В качестве пропитки могут использоваться различные полиэфирные составы или эпоксидные смолы. При обработке стеклопластиков точением в качестве инструментальных материалов используются преимущественно твердые сплавы групп ВК, ТК и ТТК, а также инструменты со вставками из поликристаллического алмаза (PCD). Синтетический алмаз имеет самую высокую твердость, теплопроводность, низкий коэффициент трения и позволяет затачивать режущие кромки с минимальным радиусом округления. Однако алмазы обладают низким сопротивлением изгибу, а поэтому при прерывистом резании и ударных нагрузках применение алмазных вставок нецелесообразно. Исследованиями [4, 6—8] установлено, что минутная стойкость резцов с режущими пластинами из твердых сплавов группы ВК в 5—6 раз выше, чем у резцов с режущими пластинами из твердых сплавов группы ТК, так как теплопроводность первых больше в 1,6—2,6 раза (таблица).

Передняя поверхность резцов, как правило, должна быть полированной и не иметь фасок и выкружек, способствующих заклиниванию стружки. Величина переднего угла γ выбирается в диапазонах 10—20° и 0—5° при точении слоистых пластмасс соответственно вдоль слоев наполнителя и перпендикулярно им (рис. 1) [8].

В результате проведенных экспериментов установлено, что 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.

Наибольшее влияние на стойкость резцов, как показали исследования, оказывает величина заднего угла ϕ . Она должна быть максимальной, так как с увеличением ϕ уменьшается воздействие упруго восстановленного материала детали на инстру-

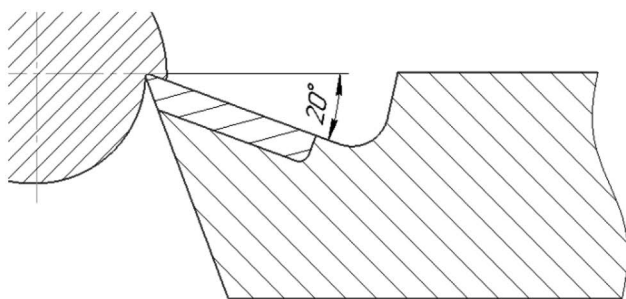


Рис. 1. Схема обработки стеклопластиков точением

мент после прохождения режущего инструмента. Однако чрезмерное увеличение ϕ недопустимо из-за снижения теплоотводящей способности режущего клина, или зуба инструмента, и поэтому при обработке пластмасс оптимальным значением является $\alpha = 15\text{--}20^\circ$ (рис. 2).

Величина главного угла в плане ϕ изменяется в диапазоне $30\text{--}60^\circ$ и обеспечивает получение малой шероховатости поверхности. Вспомогательный угол в плане ϕ_1 обычно выбирается в пределах $12\text{--}15^\circ$, так как увеличение угла ϕ с 10 до 25° приводит к возрастанию высоты неровностей на обработанной поверхности в $1,2\text{--}1,7$ раза.

На износ и стойкость резцов главное влияние оказывают скорость резания V , затем продольная подача режущего инструмента S и глубина резания t . Поэтому при назначении режимов резания сначала выбирают глубину резания, затем подачу и скорость резания, исходя из режимов резания при точении металлов. 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 заданных параметров шероховатости обработанной поверхности, а при черновой обработке можно назначать максимальную подачу.

Экспериментально установлено, что при черновом точении стеклопластиков

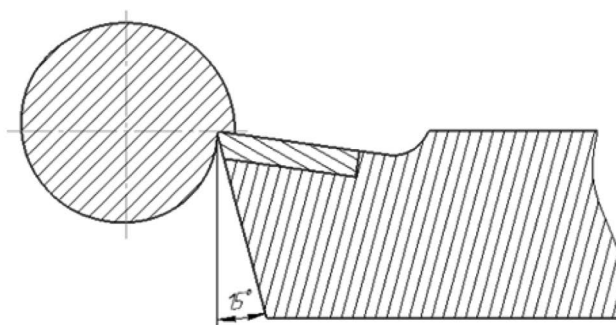


Рис. 2. Величина заднего угла при точении

$t = 3,0\text{--}5,0$ мм; $S = 0,1\text{--}0,5$ мм/об; $V = 80\text{--}160$ м/мин ($Ra = 6,3\text{--}12,5$ мкм). При чистовом точении $t = 0,5\text{--}1,0$ мм; $S = 0,05\text{--}0,2$ мм/об; $V = 170\text{--}300$ м/мин ($Ra = 1,6\text{--}3,2$ мкм).

Важно отметить, что режимы резания и геометрия инструмента при точении стеклопластиков оказывают влияние не только на шероховатость, но и на цельность обработанной поверхности. Определенную сложность представляет собой и получение точностных характеристик деталей из стеклопластиков [9, 10]. На точность деталей влияют погрешности, появляющиеся в результате механической обработки и воздействия внутренних остаточных напряжений, температурные погрешности измерения, а также погрешности, возникающие под действием окружающей среды. Погрешности механической обработки при точении возникают из-за износа инструмента, упругих деформаций системы СПИД и неточности оборудования.

По результатам проведенных экспериментальных исследований и в соответствии с работами [4, 8] установлено, что, по сравнению с металлами, полимерные композиционные материалы обладают более низкими механическими свойствами и составляющие силы резания при их обработке значительно меньше. В результате соотношение составляющих сил резания P_z , P_x и P_y будет иным. С увеличением глубины реза-

ния и подачи силы резания возрастают, что особенно заметно с ростом износа инструмента. Например, при точении стеклотекстолита СТ на токарном станке с ЧПУ резцом, оснащенным пластиной из твердого сплава ВК2, с $V = 300$ м/мин, $S = 0,21$ мм/об, $t = 3$ мм, силы P_z , P_y и P_x с повышением износа резца h_3 от 0,1 до 0,85 мм соответственно увеличиваются: P_z на 200%, а P_y и P_x на 105%. Эмпирические зависимости P_z , P_y и P_x от износа инструмента имеют вид: $P_z = 110 \cdot h_3^{0,62}$ Н; $P_y = 440 \cdot h_3^{1,05}$ Н; $P_x = 253 \cdot h_3^{1,05}$ Н, что близко к эмпирическим формулам, полученным в работах [4, 8].

Данная работа финансировалась за счет средств бюджета ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет» (Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение). Никаких дополнительных грантов на проведение или руководство данным конкретным исследованием получено не было.

Авторы данной работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Муранов А.Н., Малышева Г.В., Нелюб В.А. и др. 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. 2016. N 4. P. 301—303.
4. Скрыбин В.А., Схиртладзе А.Г. Особенности процессов фрезерования и протягивания при обработке полимерных материалов // Технология металлов. 2022. № 4. С. 28—35.
5. Баурова Н.И., Зорин В.А., Приходько В.М. Технологическая наследственность и идентификация технологических процессов // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2015. № 2. С. 2—7.
6. 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. N 2. P. 85—97.
7. **Технология конструкционных материалов.** Учеб. пособие / А.Г. Схиртладзе, В.А. Скрыбин, В. Борискин и др. Старый Оскол: ООО «Тонкие наукоемкие технологии», 2006. 360 с.
8. Григорьев С.Н. Резание материалов. Учебник / С.Н. Григорьев, А.Г. Схиртладзе, В.А. Скрыбин и др. Пенза: АННОО «Приволжский Дом знаний», 2012. 356 с.
9. Штучный Б.П. Механическая обработка пластмасс: Справочник. М.: Машиностроение, 1987. 255 с.
10. **Обработка материалов на основе углеродного волокна.** Техническое руководство. «Sandvik Coromant», 2016. 42 с.

ООО «Наука и технологии»

Учредитель журнала ООО «Наука и технологии»

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия.

Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-21982 от 21 сентября 2005 г.

Оригинал-макет и электронная версия изготовлены в ООО «Сид».

Сдано в набор 16.01.2026. Подписано в печать 10.03.2026.

Формат 60×88/8. Печать цифровая. Усл. печ. л. 5,86. Уч.-изд. л. 5,93. Тираж 120 экз. «Свободная цена».

Отпечатано в ООО «Сид»