

УДК 621.951:678
М 47

ОСОБЕННОСТИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Р. Ю. Мелентьев, асп.;
В. В. Натальчишин, ст. науч. сотр.

Одесский национальный политехнический университет, г. Одесса

Аннотация. Указаны особенности обработки полимерных композиционных материалов. Приведены результаты предварительного эксперимента по алмазному и лезвийному сверлению. Выделены перспективные пути развития алмазной обработки полимерных композиционных материалов.

Ключевые слова: алмазно-абразивное сверление, полимерные композиционные материалы, сколы, прижиг.

Анотація. Указані особливості обробки полімерних композиційних матеріалів. Наведені результати попереднього експерименту з алмазного та лезвийного свердлення. Визначені перспективні шляхи розвитку алмазної обробки полімерних композиційних матеріалів.

Ключові слова: алмазно-абразивне свердлення, полімерні композиційні матеріали, відколи, припикання.

Abstract. The specific features of the polymeric composite materials processing are pointed. The results of the previous experiment from diamond and blade drilling are given. The development prospective ways of the diamond processing of the polymer composite materials are identified.

Keywords: diamond abrasive drilling, polymer composite materials, chips, thermal degradation.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Расширение спектра использования полимерных композиционных материалов (ПКМ) в различных отраслях народного хозяйства требует разработки эффективных технологий их механической обработки. Основные трудности при этом – отсутствие методики назначения режимов обработки, которая позволила бы определить параметры качества механически обработанной поверхности ПКМ.

Обработка резанием ПКМ имеет ряд особенностей, определяемых спецификой их структуры, механическими и технологическими свойствами. В то же время процессу резания ПКМ сопутствуют, как и при резании металлов, стружкообразование, силовые и тепловые явления, интенсивное изнашивание режущего

инструмента. Каждое из перечисленных в той или иной мере отличается от аналогичных явлений при резании металлов, поэтому для оптимизации процессов обработки ПКМ необходимо раскрыть физическую сущность процесса их резания.

АНАЛИЗ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

На сегодняшний день ПКМ способны удовлетворять нуждам почти любой промышленности, чем и объясняется множество их разновидностей. С точки зрения обрабатываемости эти материалы удобнее всего классифицировать по физическим свойствам [8]. Например, широко применяемые угле- и стеклопластики являются термореактивными пластмассами с волокнистым наполнителем (рис. 1).

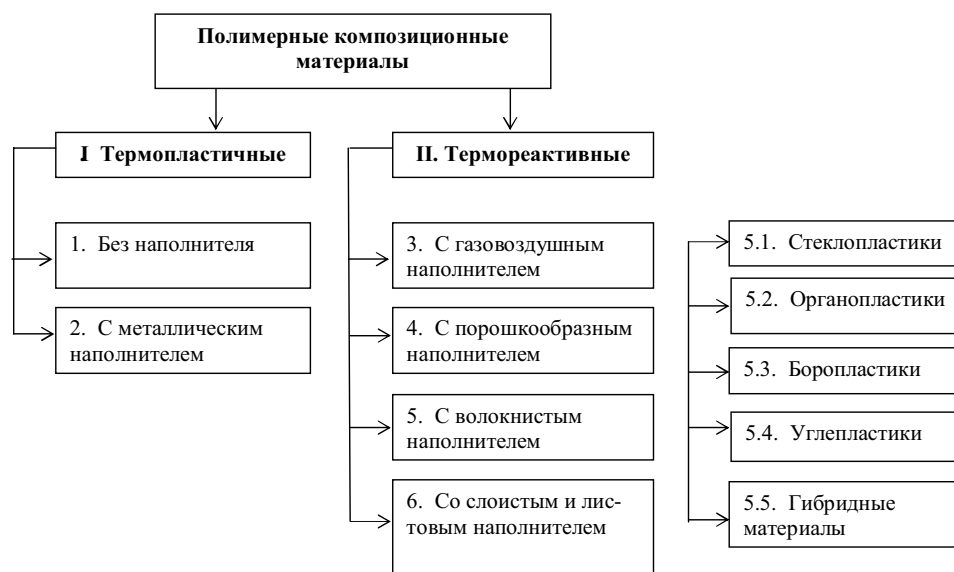


Рис. 1. Классификация пластмасс по физическим свойствам

К настоящему времени выявлены [2, 4, 5, 7, 8] следующие специфические особенности ПКМ:

- ярко выраженная анизотропия структуры, механических и физических свойств материалов, что определяет различие процессов резания, в частности стружкообразования, и влияет на качество получаемой поверхности;
- высокая твердость наполнителя (до 40...43 ГПа) и его абразивное воздействие на инструмент;
- низкая теплопроводность (0,2...0,5 Вт/(м·К), что обуславливает слабый отвод теплоты со стружкой в обрабатываемое изделие, поэтому основная доля теплоты отводится через режущий инструмент;
- низкая теплостойкость (160...300 °С);
- деструкция полимерного связующего при резании, в результате чего возникает механохимический адсорбционный износ инструмента;
- высокие упругие свойства (до 300 ГПа), влияющие на точность;
- склонность к поглощению, предотвращающая использование смазывающей охлаждающей жидкости (СОЖ).

Сверление и фрезерование ПКМ выполняют чаще всего лезвийным инструментом. Так, для образования отверстий в ПКМ применяют сверла из твердых сплавов. Такой инструмент обеспечивает получение отверстия (11–12)-го качества точности, с шероховатостью $R_z = 20...63$ мкм. В то же время обработка твердосплавным инструментом углепластиков и их композиций с абразивными частицами угля, находящимися в обрабатываемом материале, создает определенные трудности. Повышение точности (9–10-го качества точности) и качества поверхности ($R_z = 10...20$ мкм), а также увеличение производительности обработки ПКМ возможно лишь при применении алмазного инструмента [6]. По данным экспериментов [1], при алмазном сверлении было достигнуто увеличение производительности обработки в 3–9 раз и повышение срока службы инструмента в 5–10 раз. Так, при обработке стеклопластиков алмазными сверлами АСВ 400/315 диаметром 5 мм, на никелевой связке производительность сверления увеличивается почти в 3 раза с изменением частоты вращения шпинделя от 3000 до 13000 об/мин, при этом осевая сила резания остается постоянной [3].

Для выявления природы некоторых специфических особенностей обработки ПКМ были проведены практические исследования.

Таблица 1. Планирование эксперимента

Номер	Тип инструмента	Частота вращения шпинделя n , об/мин	Осевая подача S , мм/мин	ТТС U
1	Абразивный	3000	1	–, +
2	Лезвийный	500	1	–, +
3	Абразивный	3000	5	–, +
4	Лезвийный	500	5	–, +

ЦЕЛЬ НАСТОЯЩЕЙ РАБОТЫ – сравнить качество поверхностей отверстий, полученных лезвийным и алмазным инструментом; установить влияние твердых технологических смазок (ТТС) на качество обработанной поверхности; выявить типичные дефекты и условия их возникновения.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Для достижения поставленных целей авторами проделана экспериментальная работа по лезвийному и алмазному сверлению ПКМ с применением ТТС.

Сверление проводили на универсально-фрезерном станке SIEMENS OMM 64SC с цифровой индикацией подачи. Схема обработки – одностороннее сквозное сверление на планках (в тисках). Инструмент – сверла из быстрорежущей стали Р6М5 диаметром 3 мм и рекомендуемые в [2] алмазные кольцевые сверла диаметром 3 мм с назначенной методами интенсификации процессов обработки [1] маркой синтетического алмаза АС32. В качестве ПКМ были выбраны образцы стеклопластика типа стеклотекстолит марки СТ-ЭДИ (на эпоксидной основе ЭДИ) толщиной 5 мм. Данный тип ПКМ имеет ортотропную схему армирования с переплетенными прядями (рис. 2), каждая из которых может состоять из 50...100 отдельных волокон.

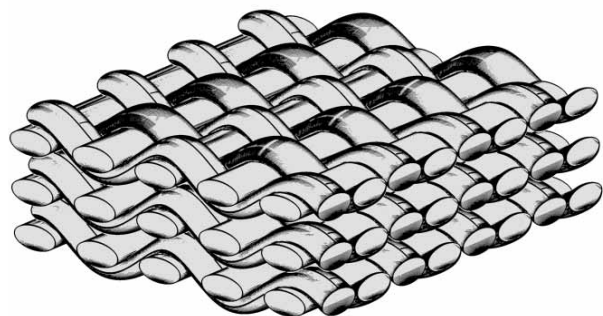


Рис. 2. Схема армирования с переплетенными прядями

В процессе обработки ПКМ сверло периодически поднимали и смазывали карандашом ТТС такого состава: масло И-20, олеиновая кислота и стеарин в процентном соотношении 15 %, 20 % и 65 % соответственно.

Режимы обработки (табл. 1) устанавливали со ступенчатым возрастанием. Каждым типом инструмента на каждом режиме для усреднения результатов измерений сверлили по три отверстия с применением ТТС и без применения. Подача на врезание и выход сверла из образца составила 2 мм.

Продолж. табл. 1

Номер	Тип инструмента	Частота вращения шпинделя n , об/мин	Осевая подача S , мм/мин	ТТС U
5	Абразивный	3000	10	– , +
6	Лезвийный	500	10	– , +
7	Абразивный	3000	15	– , +
8	Лезвийный	500	15	– , +
9	Абразивный	3000	20	– , +
10	Лезвийный	500	20	– , +
11	Абразивный	3000	30	– , +
12	Лезвийный	500	30	– , +
13	Абразивный	3000	..., 60	– , +
14	Лезвийный	500	..., 60	– , +

Для математического описания зависимости можно использовать традиционную для машиностроения степенную зависимость вида

$$\bar{y} = C_y x_1^{\beta_1} x_2^{\beta_2} x_3^{\beta_3},$$

где \bar{y} – среднее значение контролируемого параметра; x_1, x_2, x_3 – значения варьируемых параметров; $C_y, \beta_1, \beta_2, \beta_3$ – эмпирические коэффициенты.

В качестве основного контролируемого параметра \bar{y} принято качество кромки: величина сколов, величина разлохмаченных пучков и величина пятна прижога. Варьируемым фактором x_1 выступает осевая подача S . Для данного случая можно записать

$$\bar{y} = UC_y x_1^{\beta_1},$$

где U отражает воздействие ТТС.

Поскольку фактор варьирования – единственный, приводится полное описание эксперимента.

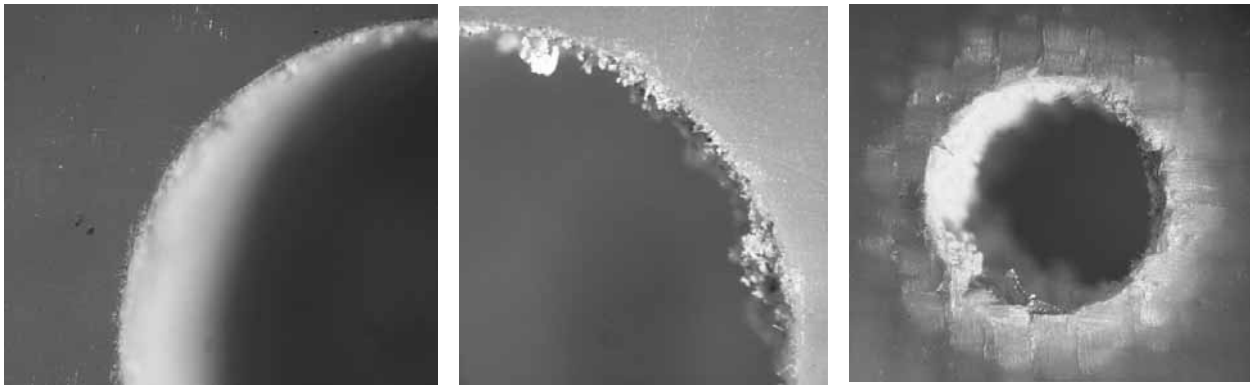
Исследования проводились с лупой семикратным увеличением с использованием микроскопа МБС 9 с окулярами $\times 12$ и $\times 8$, объективом $\times 1$ – $\times 7$ и цифровой фотокамерой с 4-кратным оптическим зумом.

При сверлении с осевой подачей 1 мм/мин и алмазным и лезвийным сверлами (далее АС и ЛС) кромка отверстия на входе сверла в образец формируется без дефектов, с достаточно четкой линией кромки (рис. 3,а), однако на выходной стороне материала кромки несколько отличаются, в основном у отверстия, просверленного АС. При нанесении ТТС после сверления выяснилось, что сверла остались холодными (ТТС крошилась на инструменте, имея точку плавления 70 °С). С увеличением осевой подачи с 1 до 5 мм/мин качество кромок заметно ухудшилось. Кромки, полученные АС, характеризуются некой «корявостью» (рис. 3,б), после ЛС зафиксировано малое (визуально незаметное) деформирование кромки наружу (вывернутость). При обработке АС с осевой подачей 10 мм/мин несколько потемнела стружка (с белого до бледно-оранжевого), ТТС начала плавиться и течь по инструменту, что говорит о его нагреве. С выходом на 15 мм/мин в процессе сверления возник дым, кромки отверстия и прилегающая поверхность окрасились

в светло-коричневый цвет. Применение ТТС уменьшило площадь окрашенного кольца (прижатой области) вокруг отверстия. При сверлении с 25 мм/мин и выше температурное влияние стало незаметным, однако возник механический дефект – отслоение кромки. Дальнейшее увеличение осевой подачи привело к грубым дефектам кромки и низкому качеству обработанной поверхности (рис. 3,в,г).

Кромки отверстий на выходной стороне имеют более выраженные дефекты, среди них отслоение, вспучивание, вывернутость, сколы, разлохмачивание, нераскрывание отверстия и т. д. (рис. 4).

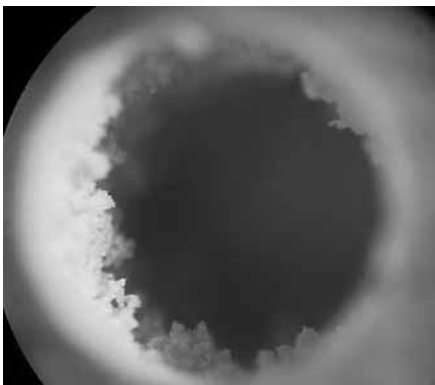
Отслоение верхнего монослоя ПКМ обусловлено действием большой силы в осевом направлении, которая в момент отслоения превосходит силы адгезии между слоями. Скол пучка с волокнами из связующего происходит из-за превосходства локальных нагрузок над его прочностными характеристиками. Разлохмачивание пучка говорит о высоких упругих свойствах каждого отдельного волокна. Данные дефекты более выражены при обработке ЛС, так как все усилия резания сосредоточены лишь на двух режущих кромках – в отличие от АС, где срезание припуска осуществляется всем торцом. Важно заметить, что сколы пучков и разлохмачивание волокон, а также нераскрывание отверстия в основном происходят из-за угла при вершине сверла. Как видно из рис. 4,б–г, значительная часть припуска поверхностного слоя ПКМ не срезается, а отгибается, скалывается или деформируется наружу. Существенным фактором, влияющим на величину указанных дефектов (см. рис. 4,б–г), является схема укладки пряжей в верхнем монослое ПКМ. Именно верхний слой является кромкообразующим. Как указано в [7], величина сколов зависит от осевой составляющей силы резания. В случае обработки лезвийным инструментом усилие резания на задней поверхности превосходит порой силы, действующие на переднюю поверхность, и при затуплении режущей кромки усиление резки возрастает, что ограничивает рабочий ресурс инструмента и ухудшает качество обработанной поверхности.



a

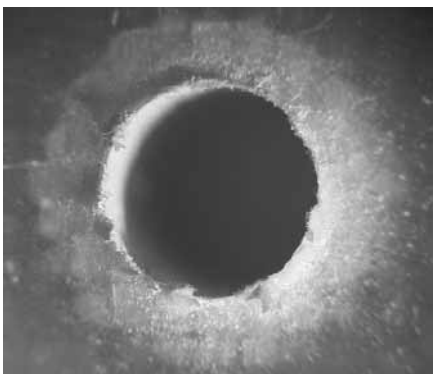
б

в

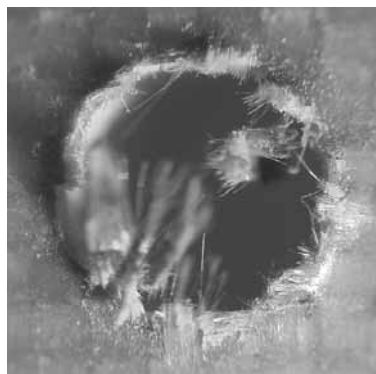


г

Рис. 3. Влияние осевой подачи на качество обработанной поверхности отверстий в стеклотекстолисте СТ-ЭДИ: *a* – 1 мм/мин (сегмент кромки отверстия на входе сверла, увеличение $\times 20$); *б* – 5 мм/мин (сегмент кромки отверстия на входе сверла, увеличение $\times 20$); *в* – 60 мм/мин (кромка на входе сверла, увеличение $\times 12$); *г* – 60 мм/мин (обработанная поверхность, в фокусе, увеличение $\times 16$)



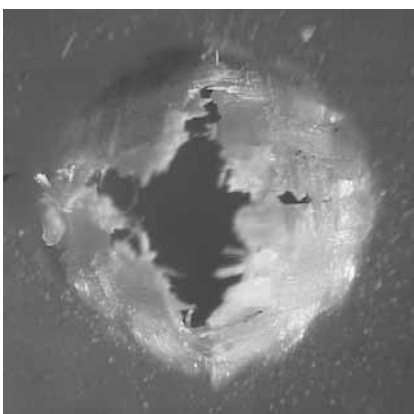
a



б



в



г

Рис. 4. Дефекты кромок на выходе отверстий при сверлении стеклотекстолиста СТ-ЭДИ (увеличение $\times 12$): *a* – вывернутость и отслоение; *б* – сколы и разломачивание; *в* – разломачивание отслоенной кромки; *г* – нераскрывание отверстия

Потемнение кромок зафиксировано только при обработке АС, что свидетельствует о теплонапряженности процесса алмазного сверления. В результате термического влияния в ПКМ происходят структурные изменения. Полимерная матрица, имея низкую теплостойкость (160...300 °С), испытывает термическую деструкцию. Как показывают результаты эксперимента, применение ТТС снижает уровень теплонапряженности процесса сверления и позволяет получать отверстия более высокого качества.

ВЫВОДЫ

1. Обработка стеклотекстолита лезвийным инструментом из быстрорежущей стали Р6М5 при низкой частоте вращения (500 об/мин) в широком диапазоне осевых подач не обеспечивает требуемое качество поверхности и кромок отверстия.

2. Обработка стеклотекстолита абразивным инструментом при частоте вращения 3000 об/мин, в диапазоне подач 10...20 мм/мин характеризуется

высоким уровнем теплонапряженности, что приводит к появлению тепловых прижогов.

3. Применение смазывающих и охлаждающих технологических средств, например твердых технологических смазок, на операциях алмазного сверления ПКМ является эффективным.

4. Схема армирования влияет не только на качество обработанной поверхности, но и на точность формы кромок отверстия, поэтому при разработке технологической операции механической обработки ПКМ следует учитывать направление обработки относительно схемы армирования.

5. Дальнейшее повышение точности формы, качества поверхности, а также увеличение производительности обработки ПКМ возможно путем оптимизации режимов резания при алмазном сверлении, обеспечивающих обработку в пределах критической температуры материала (160...300 °С) с применением твердых технологических смазок.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Алмазно-абразивный инструмент для обработки полимерных композиционных материалов [Текст] / А. А. Шепелев, В. Г. Сороченко, С. В. Рябченко, А. А. Шепелев // Оборудование и инструмент для профессионалов. – 2013. – № 2. – С. 30–31.
- [2] **Балыков, А. В.** Повышение эффективности обработки отверстий в деталях из хрупких неметаллических материалов на основе алмазного сверления [Текст] : дис. ... д-ра техн. наук / А. В. Балыков. – М., 2004.
- [3] **Березин, И. С.** Методы вычисления [Текст] / И. С. Березин, Н. П. Жидков. – М. : Физматгиз, 1959. – Т. 1. – 464 с.
- [4] **Дрожжин, В. И.** Измерение температуры при резании неметаллических материалов инструментом из сверхтвердых материалов поликристаллов [Текст] / В. И. Дрожжин, Н. В. Верезуб // Алмазы и сверхтвердые материалы. – 1976. – Вып. 11. – С. 17–19.
- [5] **Дрожжин, В. И.** Физические особенности и закономерности процесса резания слоистых пластмасс [Текст] : дис. ... д-ра техн. наук / В. И. Дрожжин. – Х. : ХПИ, 1982. – 32 с.
- [6] **Дударев, А. С.** Конструкции сверл и фрез для алмазно-абразивной обработки стеклопластиков и углепластиков [Текст] / А. С. Дударев // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2012. – № 1. – С. 361–370.
- [7] **Степанов, А. А.** Обработка резанием высокопрочных композиционных полимерных материалов [Текст] / А. А. Степанов. – Л. : Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1987. – 176 с.
- [8] **Штучный, Б. П.** Обработка резанием пластмасс [Текст] / Б. П. Штучный. – М. : Машиностроение, 1974. – 144 с.

© Р. Ю. Мелентьев, В. В. Натальчишин

Надійшла до редколегії 30.05.13

Статтю рекомендує до друку член редколегії ЗНП НУК
д-р техн. наук, проф. О. М. Дубовий