

УДК 678.067621.892

DOI: 10.12737/article_592d15da043ce6.63942104

**Ю.М. Зубарев, д.т.н.,
А.В. Приемышев, к.т.н.,
А.С. Заостровский, инженер**
(ФГАОУ ВО Санкт-Петербургский государственный университет Петра Великого
195251, С-Петербург, Политехническая ул., 29)
E-mail: iuzubarev@mail.ru

Влияние режимов резания на выходные параметры процесса при обработке поликристаллических композиционных материалов

Рассмотрены особенности обработки резанием полимерных композиционных материалов. Предложены рекомендации по использованию различных материалов режущего инструмента, его геометрии и режимов обработки, что позволяет получить требуемое качество поверхности изделия.

Ключевые слова: обработка резанием; полимерные композиционные материалы; режущий инструмент; качество обработки.

**Yu.M. Zubarev, D. Eng.,
A.V. Priomyshchev, Can. Eng.,
A.S. Zaostrovsky, Engineer**
(FSAEI HE Peter the Great State University of Saint-Petersburg
29, Polytechnicheskaya Str., Saint-Petersburg 195251)

Cutting mode impact upon output process parameters at processing of polycrystalline composite materials

The peculiarities in polymeric composite material cutting are considered. The recommendations for use of different materials for cutters, their geometry and treatment modes are offered that allows obtaining the required quality of a product surface.

Keywords: cutting; polymeric composite materials; cutter; treatment quality.

Полимерные композиционные материалы (ПКМ) содержат неоднородные композиты, и процесс образования стружки при их обработке значительно отличается от обработки металлов резанием. Тем не менее, существуют некоторые общие аспекты, которые в той или иной степени достаточно схожи, как при обработке металлов, так и при обработке пластиков. Следовательно, теорию обработки металлов резанием можно применить и для обработки пластиков с определёнными поправками на особенность механической обработки резанием армированных материалов и с учё-

том влияния направления волокна при обработке ПКМ [9].

В результате при обработке ПКМ появляется присущая только им технологическая наследственность, и формируются эксплуатационные свойства, которые отличаются от свойств деталей машин, изготовленных из металлов [4].

Успешное внедрение деталей из ПКМ в машиностроение зависит не только от технологий создания и механических свойств ПКМ, но, главным образом, от возможности их механической обработки с соблюдением требо-

ваний по точности и качеству поверхностей изделий.

Проблемы механической обработки связаны с особенностями процесса резания двух составляющих: непластичной (армирующие волокна) и пластичной – основа. Материал ещё до сих пор мало изучен, а его свойства представляют собой уникальную композицию физических, химических, механических и других свойств. Точность обработки и качество поверхности изделия во многом зависят от финишной механической обработки [8].

Полимерные композиционные материалы – это не однородные материалы, а состоящие из многих составляющих и различных фаз. Армирующие волокна прочные и хрупкие, как, например, с арамидными и стекловолокнами, и обладают низкой теплопроводностью. С другой стороны, полимерная матрица не прочная и, в определённой степени, относительно армирующего материала, пластичная. Её теплопроводные свойства также низкие, что, в конечном счёте, влияет на выбор технологических параметров процесса обработки. Недопустимость получения в процессе обработки больших значений температур, является ограничивающим фактором в процессах постотверждения [7].

Обработка пластика характеризуется не всегда контролируемым внутренним разрушением. Составляющие силы резания не всегда типичны, вследствие разницы внутреннего разрушения (вырывания) армирующих волокон [2].

Таким образом, обрабатываемость ПКМ определяется, в основном, физическими и механическими свойствами волокна и матрицы, содержанием (типом) волокна и его направленностью. Например, стекло и углеволокно разрушаются перед режущей поверхностью, при условии малого радиуса r её режущего лезвия, а более жёсткие и прочные арамидные волокна, накапливаются (пакетируются) перед режущей поверхностью. Следовательно, на качество обработанной поверхности значительно влияют тип армирования и его направление [2].

Составляющие силы резания также зависят от характеристики используемых в ПКМ волокон и их направления, так как прочность самой матрицы не оказывает на величину силы резания существенного влияния.

Качество обработанной поверхности является определяющим фактором при оценке обработки ПКМ. Термин «качество» относится как к геометрическим параметрам, так и к

степени повреждения материала, вызванного процессом обработки (царапины, вырывы материала, разлохмачивание и др.). Процесс измерения этих критериев для пластиков более сложный, чем для металлов, из-за неоднородной их структуры. Невозможно использовать профилометр из-за малой твёрдости основы ПКМ. В связи с этим, на сегодняшний день не существуют общепринятые стандарты технологий измерения, характеризующие параметры качества поверхности ПКМ.

Тип стружки при обработке ПКМ во многом зависит от следующих факторов:

- материала и ориентации волокна;
- материала матрицы;
- режимов резания (скорости и глубины резания);
- переднего угла режущего инструмента и радиуса округления его режущей кромки.

Процесс стружкообразования при обработке однонаправленных ПКМ подразделяется на пять различных типов, в зависимости от ориентации волокон и значения наклона переднего угла резания [2], при этом резец имеет острую кромку (радиус округления вершины резца $r = 3 \dots 5$ мкм).

На рис. 1 представлено схематическое изображение процессов, возникающих при резании ПКМ инструментом с большим радиусом округления режущего лезвия.

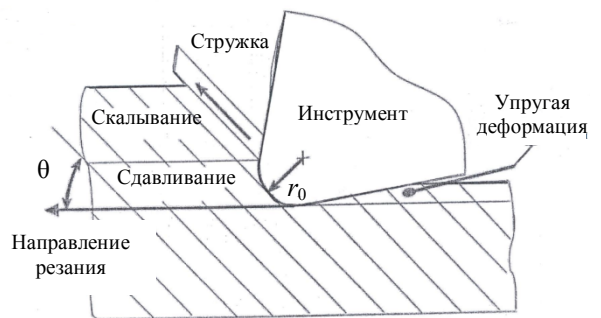


Рис. 1. Резание ПКМ инструментом с большим радиусом округления режущей кромки r_0

При резании инструментом с относительно большим значением r или при очень малой глубине резания, по сравнению со значением r , на траектории перемещения инструмента зона обработки разделяется на две области – сдавливания и скалывания соответственно.

Материал в области сдавливания (упругой деформации) «проталкивается» под инструмент, а затем восстанавливается после прохождения инструмента.

При исследовании микроструктуры обработанной поверхности и стружки часто наблюдается расслоение самой поверхности.

Стружка образуется при резании ПКМ с углом направленности волокон $\theta = 0^\circ$ (180°) (рис. 2).

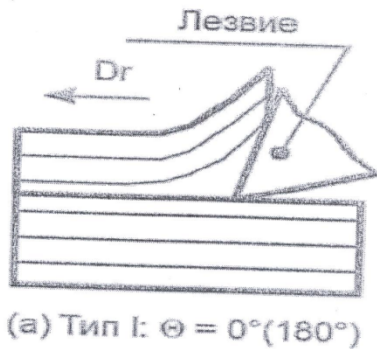
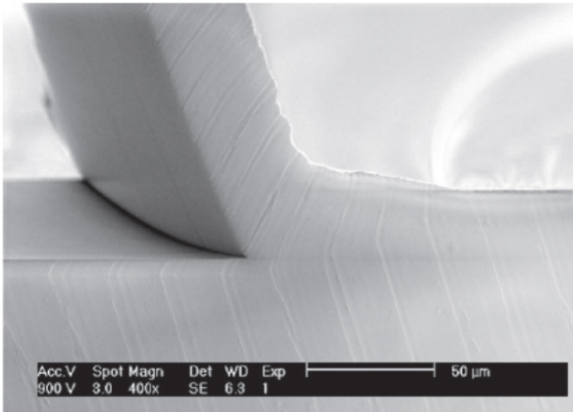
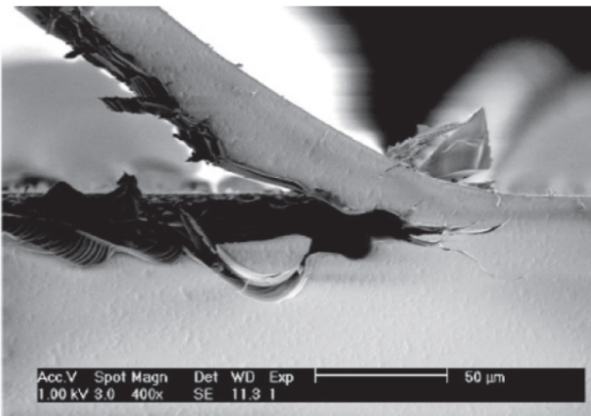


Рис. 2. Угол направленности волокон относительно направления вектора главного движения

На рис. 3 показаны типы стружек, полученные при обработке термопластов (рис. 3, а) и терморектопластов (рис. 3, б).



а)



б)

Рис. 3. Образование стружки матрицы:
а – термопласты; б – терморектопласты

Все эксперименты проводились при точении заготовок из ПКМ на токарном станке с ЧПУ модели Mazak Quickturn (Япония) повышенной точности.

При резании передняя поверхность резца стремится сдвинуть слой материала шириной, равной величине подачи, относительно поверхности резания. Трение на режущем лезвии инструмента взаимодействует с процессом сдвига при образовании стружки и влияет на сдвигаемое направление, деформацию в плоскости сдвига и получаемый тип стружки. При этом угол трения при механической обработке ПКМ в значительной степени зависит от ориентации волокон.

Как показали исследования, первоначальное увеличение угла трения происходит при ориентации волокон от 0° до 15° . Уменьшение угла трения происходит при ориентации волокон в диапазоне $15^\circ < \theta < 90^\circ$. Необходимо отметить, что в отличие от углепластиков, угол трения при механической обработке стеклопластиков мало зависит от ориентации волокон.

Материал режущей части инструмента [3] при обработке ПКМ должен быть весьма износостойким, т.е. выдерживать абразивность волокон, а также другие факторы, которые действуют на его режущие поверхности. Например, при резании образуется вязкотекучий полимер, который является поверхностно-активным веществом, снижающий поверхностную энергию материала инструмента и приводит к его адгезионному износу. Всё это определяет износ инструмента по задней поверхности, увеличение радиуса округления режущего лезвия, что приводит к увеличению составляющих силы резания, к росту динамических явлений при обработке, снижению точности и качества поверхностного слоя изделия.

При обработке ПКМ, армированных органическими волокнами (арамидные волокна типа СВМ или кевлар), которые характеризуются вязким разрушением при резании, необходим режущий инструмент, который предварительно бы создавал при резании растягивающие напряжения в волокне и последующее их быстрое срезание. При этом режущие кромки инструмента должны тянуть волокна от периферии заготовки к её центру. Этим требованиям отвечают режущие инструменты, оснащённые СТМ с радиусом округления режущего лезвия $r = 3 \dots 5$ мкм. Возможно также использование инструмента из твёрдого сплава групп ТК или ТТК с алмазоподобным покрытием режущей части инструмента. Следует отметить, что у последних радиус округления режущего лезвия выше за счёт толщины покрытия и составляет $7 \dots 10$ мкм. Это, как показывают исследования, несколько снижает

эффективность обработки ПКМ.

На рис. 4 показан износ резца при обработке ПКМ с разнонаправленными волокнами из углепластика. Деструкция полимерного связующего материала при резании, в результате которой образуется вязкотекучий в микрообъёмах полимер, являющийся поверхностно-активным веществом (ПАВ), снижает поверхностную энергию материала инструмента, что облегчает отрыв от его поверхности отдельных микро- и макрочастиц. В результате этого возникает механохимический адсорбционный износ инструмента.

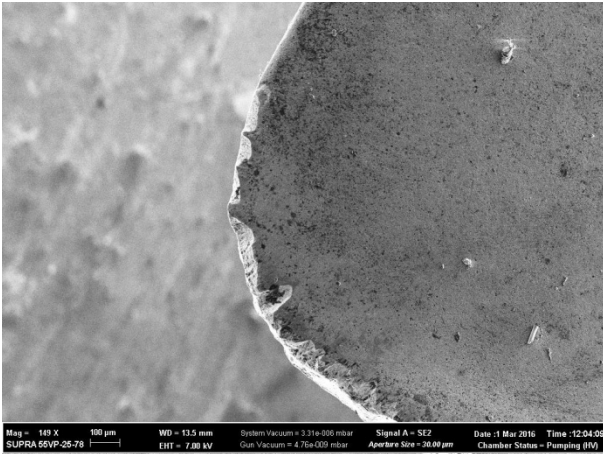


Рис. 4. Износ резца при обработке ПКМ с разнонаправленными волокнами из углепластика

На основании приведённых исследований, были установлены допустимые критерии износа твёрдосплавных сменных пластин группы ТК с покрытием из кубического нитрида бора (СНВ): $h_3 = 0,1 \dots 0,2$ мм для черновой обработки и $h_3 = 0,08 \dots 0,1$ мм – для чистовой.

Работа данными резцами со степенью износа не более указанных величин, обеспечивает получение поверхности требуемого качества, без сколов, расслоения, разломачивания с параметрами шероховатости поверхности $Rz = 10 \dots 40$ мкм на черновых операциях и Ra , примерно $0,7 \dots 1,5$ мкм – на чистовых операциях.

Выводы

1. Анизотропия свойств материалов ПКМ, определяющая процесс стружкообразования при обработке вдоль или поперёк армирующих волокон, а также схема армирования оказывает существенное влияние на износ режущего инструмента, качество получаемой поверхности и точность обработки.

2. Теплопроводность углепластиков весьма малая, что обуславливает плохой отвод тепла со стружкой и в обрабатываемое изделие. Это предъявляет особые требования к приме-

няемому режущему инструменту, который должен интенсивно отводить выделяющееся в зоне резания тепло.

3. Склонность к упругому восстановлению обрабатываемой поверхности ПКМ приводит к появлению больших площадок контакта на задних поверхностях инструмента и, как следствие, высокую интенсивность износа инструмента по задней поверхности. При этом снижается точность обработки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Биков, Ю.А. Структура и свойства конструкционных наноматериалов // Справочник. Инженерный журнал. Приложение. – 2010. – №7. С. 1– 24.
2. Зубарев, Ю.М., Приемышев, А.В., Заостровский, А.С. Особенности технологии механической обработки углепластиков // Научноёмкие технологии в машиностроении. – 2016. – № 5(59). С. 30– 33.
3. Зубарев, Ю.М. Современные инструментальные материалы. – СПб.: Изд-во «Лань», 2014. – 304 с.
4. Зубарев, Ю.М. Технологическое обеспечение надёжности эксплуатации машин. – СПб.: Изд-во «Лань», 2016. – 320 с.
5. Инженерия поверхности деталей / под ред. А.Г.Сулова. – М.: Машиностроение, 2008. – 320 с.
6. Механическая обработка композиционных материалов при сборке летательных аппаратов. – Сумы: Изд-во ИТД «Университетская книга», 2013. – 97 с.
7. Михайлин, Ю.А. Конструкционные полимерные композиционные материалы. – СПб.: Научные основы и технологии, 2010. – 822 с.
8. Приемышев, А.В., Заостровский, А.С. Особенности механической обработки высокотехнологичных полимерных композиционных материалов на основе углеродного волокна с термопластичной матрицей // Наука и образование: инновации, интеграция и развитие. – 2014. – №1. – С. 174– 179.
9. Пул, Ч., Оуэнс, Ф. Нанотехнологии: пер. с англ. – М.: Техносфера, – 2004. – 328 с.

REFERENCES

1. Bikov, Yu.A. Structure and properties of constructional nano-materials / *Reference Book. Engineering Journal. Appendix*. – 2010. – №7. pp. 1– 24.
2. Zubarev, Yu.M., Priyomyshev, A.V., Zaostrovsky, A.S. Peculiarities in technology of carbon plastic machining // *Science Intensive Technologies in Mechanical Engineering*. – 2016. – № 5. pp. 30– 33.
3. Zubarev, Yu.M. *Modern Tool Materials*. – S-Pb.: “Lan” Publishing House, 2014. – pp. 304.
4. Zubarev, Yu.M. *Technological Support in Machine Operation Reliability*. – S-Pb.: “Lan” Publishing House, 2016. – pp. 320.

5. *Parts Surface Engineering* /under the editorship of A.G.Suskov. – M.: Mechanical Engineering, 2008. – pp. 320.

6. *Composite Material Machining at Aircraft Assemblage*. – Sumy: PTH “University Book” Publishing House, 2013. – pp. 97.

7. Mikhailin, Yu.A. Constructional polymeric composite materials. – S-Pb.: *Scientific Fundamentals and Technologies*, 2010. – pp. 822.

8. Priyomyshev, A.V., Zaostrovsky, A.S. Peculiarities in machining of advanced technology polymeric composite materials based on carbon fiber with thermoplastic matrix // *Science and Education: Innovations, Integration and Development*. – 2014. – №1. – pp. 174– 179.

9. Pool, Ch., Owens, F. *Nano-Technologies*: Transl. from Engl. – M.: Technosphere, – 2004. – pp. 328.

Рецензент д.т.н. П.Ю. Бочкарев



Уважаемые коллеги!

03.10. - 07.10.2017 г.

Донской государственный технический университет

ПАО «Роствертол»

проводит

**международный научный симпозиум
«Виброволновые процессы в технологии
обработки деталей высокотехнологичных изделий»**

Направления работы симпозиума:

1. Виброволновые процессы в технологии отделочно-упрочняющей и стабилизирующей обработки деталей.
2. Вибрационная механохимия в процессах обработки и покрытий.
3. Научные технологии обработки и сборки высокотехнологичных изделий.
4. Технологическое обеспечение виброволновых процессов, научных методов обработки и сборки изделий (оборудование, инструментальное обеспечение, методы и средства контроля и испытаний).
5. Технологические, организационно-экономические и экологические аспекты утилизации изделий.
6. Подготовка и повышение квалификации специалистов для научных технологий в машиностроении.

Организационный комитет:

Бабичев А.П. (председатель) – директор НИИ «Вибротехнология» ДГТУ, д.т.н., проф., заслуженный деятель науки и техники РФ, председатель международного комитета «Вибротехнология»; г. Ростов-на-Дону;

Тамаркин М.А. (сопредседатель) – зав. каф. «Технология машиностроения» ДГТУ, д.т.н., проф.;

Лебедев В.А. (зам. председателя) – к.т.н., проф. каф. «Технология машиностроения» ДГТУ;

Давыдова И.В. (учёный секретарь) – к.т.н., доц. каф. «Технология машиностроения» ДГТУ

Адрес организационного комитета:

344000, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1, ДГТУ,

Кафедра «Технология машиностроения»

НИИ «Вибротехнология», к.2-107

Тел. (863)2738-513, 2738-360,

E-mail: vibrotech@mail.ru; va.lebidev@yandex.ru