

УДК 621.951.01:678

Р.Ю. Мелентьев, специалист,
В.В. Натальчишин, инженер,
Одес. нац. политехн. ун-т

ОСОБЕННОСТИ СВЕРЛЕНИЯ УГЛЕПЛАСТИКОВ

Введение. Процесс механической лезвийной обработки углепластиков мало изучен по целому ряду причин. Углепластики как новый класс материалов первоначально использовались в оборонной промышленности, этот материал не был доступен широкому кругу исследователей, возникающие вопросы обработки решали частным образом.

Анизотропные свойства полимерных композиционных материалов (ПКМ) требуют многофакторного рассмотрения процесса резания с учетом, как их многофазного строения, так и направления укладки армирующих волокон. Таким образом, анизотропия свойств ПКМ предопределяет особенности процессов, проходящих в зоне контакта, оказывает существенное влияние на качество обрабатываемой поверхности и стойкость инструмента [1]. При решении этой прикладной задачи необходим комплексный подход. На сегодняшний день отсутствуют исследования по прогнозированию и технологическому обеспечению геометрических показателей качества обработанных отверстий методом сверления. Это не позволяет осознанно управлять процессами сверления с целью обеспечения заданного качества обработки при наивысшей ее производительности, а также изыскивать пути повышения интенсификации процессов и расширения их технологических возможностей.

Анализ последних исследований и публикаций. В некоторых областях промышленности электрофизико-химические методы обработки полностью вытеснили механическую обработку. Объем внедрения этих методов в промышленности неодинаков. Каждый из них имеет определенные, присущие только ему характеристики, определяющие их применяемость. Электрохимическая обработка применима для обработки тех материалов, которые проводят электрический ток [2]. Среди ПКМ некоторые являются диэлектриками, поэтому данная задача указанными методами нерешаема.

Светолучевая (лазерная) и электроннолучевая обработки используются для различных материалов. В Самарском филиале Физического института им. П.Н. Лебедева разработаны основы технологий размерной обработки углеродных композиционных материалов с использованием непрерывного и импульсно-периодического лазерного излучения. Но такие методы приемлемы только для углерод-углеродных материалов, не имеющих в основе матрицы полимеров. При лазерной размерной обработке углепластиков может наблюдаться явление деструкции полимеров — разрушение в зоне обработки структуры, вызванное разложением макромолекул под действием тепла, что является технологическим браком.

Самая главная причина ограниченного применения немеханических методов формообразования отверстий, таких как гидравлической струйной обработки или электрофизической обработки, заключается в том, что некоторые детали из углепластика, например, звукопоглощающие панели (ЗП) для авиационных двигателей, представляют многослойную ячеистую конструкцию, наружную стенку которой необходимо сохранить целостной, т.е. не допускается стенки ЗП перфорировать насквозь.

Одной из тенденций современного машиностроения является стремление максимально приблизить заготовку к готовой детали с целью уменьшения объема работ по ее механической, обработке резанием. Однако, несмотря на это, именно механическая обработка резанием до настоящего времени остается наиболее распространенным методом изготовления деталей, особенно при получении мелкоразмерных отверстий диаметром до 3 мм.

DOI 10.15276/opus.2.44.2014.06

© Р.Ю. Мелентьев, В.В. Натальчишин, 2014

Исходя из вышесказанного можно сделать вывод, что применение механической, обработки резанием при производстве изделий из ПКМ не утратил своей актуальности и сейчас.

Обработка резанием отверстий в углепластиках имеет следующие особенности [3]:

- наличие сколов, “разлохмачивания” материала в местах входа и выхода инструмента из отверстий по причине низкой адгезионной связи наполнителя со связующим;
- сложность получения высокого качества обработанной поверхности (отсутствия сколов, расслоения, необходимой шероховатости) из-за ярко выраженной анизотропии свойств, что требует индивидуального подбора режимов резания и геометрии инструмента;
- низкая теплопроводность материала, обуславливающая плохой отвод теплоты из зоны резания (инструмент поглощает 80...90 % тепла);
- высокие вязкоупругие свойства приводят к нетривиальному явлению — усадке отверстий;
- абразивное воздействие твердого наполнителя приводит к интенсивному износу инструмента. Помимо абразивного присутствуют и другие виды износа: механохимический и водородный;
- деструкция полимерного связующего при резании. Под действием механических и тепловых нагрузок происходит химическое разрушение наполнителя, характерное при обработке глубоких отверстий;
- низкая производительность процесса из-за невысоких скоростей резания, т. к. ограничено применение смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ), поскольку ПКМ обладают свойством влагопоглощения;
- наличие больших площадей контакта по задней поверхности инструмента. Длина контакта на задней поверхности зависит от упругих свойств ПКМ, геометрических параметров инструмента, в том числе его износа на задней поверхности, и практически не зависит от режимов резания;
- специфические требования техники безопасности, связанные с выделением летучих токсичных частиц материала при резании.

Целью работы является изучения процесса сверления углепластиков для разработки эффективного и производительного способа обработки отверстий. Для достижения цели необходимо:

- сравнить качество поверхностей отверстий и точность формы кромок, полученных лезвийным и алмазным инструментами;
- установить влияние материала лезвийного инструмента на параметры точности кромок;
- выявить типичные дефекты и условия их возникновения.

Изложение основного материала. Сверление проводилось 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 P6M5 и твердосплавные BK6 диаметром 6 мм, а также рекомендуемые алмазные кольцевые сверла диаметром 6 мм [2] с назначенной методами интенсификации процессов обработки [4] маркой синтетического алмаза AC32. В качестве ПКМ выбраны образцы углепластика марки

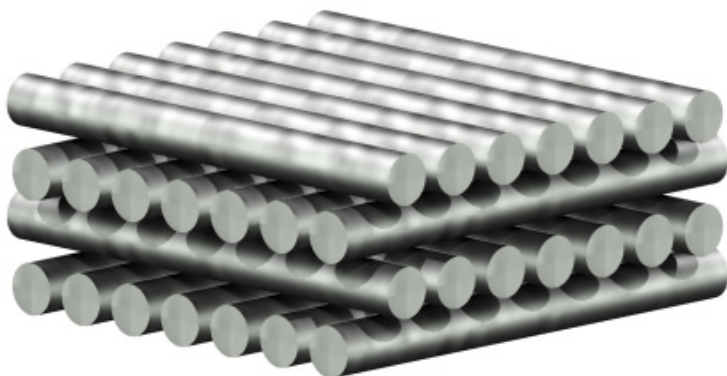


Рис. 1. Ортоотропная схема армирования

КМУ 11тр на основе связующего ЭДТ-69н и наполнителя УТ-900 толщиной 5 мм. Данный тип ПКМ имеет ортоотропную схему армирования (рис. 1).

Режимы обработки (табл. 1) устанавливались со ступенчатым возрастанием. Каждым типом инструмента на каждом режиме для усреднения результатов измерений сверлили по три отверстия. Подача на врезание и выход сверла из образца составила 2 и 4 мм, соответственно.

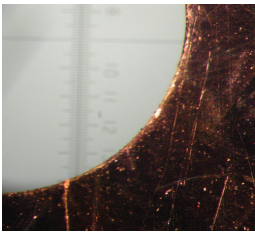
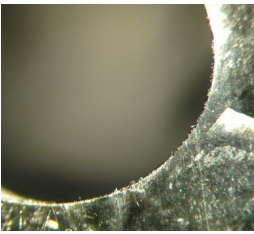
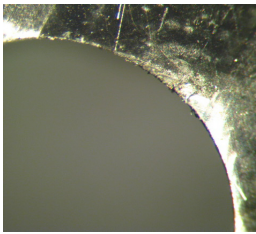
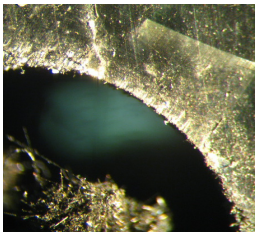
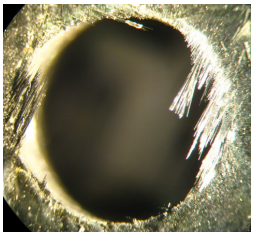
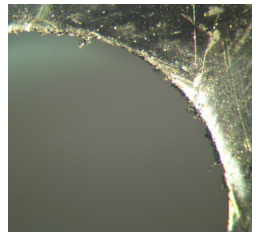
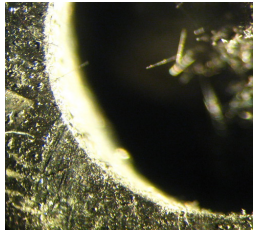
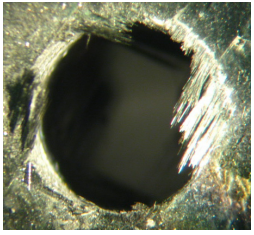
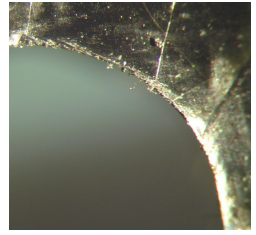
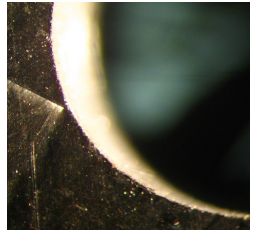
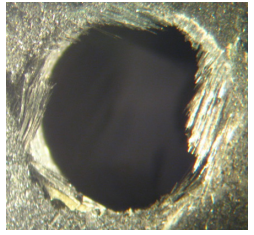
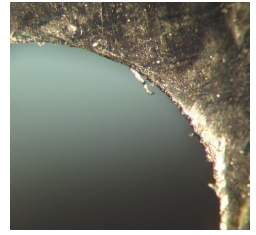
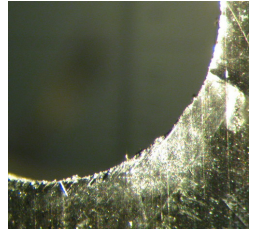
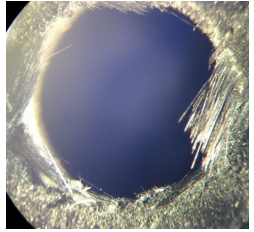
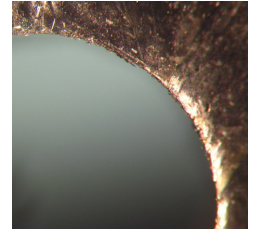
Таблиця 1

Режими сверлення

№	Тип інструмента	Частота вращения шпинделя, n , об/мин	Осевая подача, S , мм/мин					
			5	10	20	40	60	100
1	Алм.	3000	5	10	20	40	60	100
2	Р6М5	3000	5	10	20	40	60	100
3	ВК6	3000	5	10	20	40	60	100

Таблиця 2

Влияние осевой подачи на качество входных кромок

S , мм	Тип сверла		
	Кольцевое, алмазное	Спиральное, Р6М5	Спиральное, ВК6
5			
20			
40			
60			
100			

Ввиду единственного фактора варьирования, приводится полное описание эксперимента.

Результаты эксперимента фиксировались с увеличительной 7× лупой, под микроскопом МБС 9 с окулярами 12× и 8×, объективом 1×...7× и цифровой фотокамерой с 4× оптическим зумом.

В процессе сверления отверстий и алмазным, и лезвийными сверлами (далее АС и ЛС) с осевой подачей 5 мм/мин кромка отверстия на входе сверла в образец формируется без дефектов с достаточно четкой линией кромки (табл. 2).

С повышением осевой подачи при использовании любого из указанных инструментов линия кромки ухудшается, особенно выраженный дефект “разлохмачивания” наблюдается у отверстий, обработанных быстрорежущим ЛС. К удивлению, данный дефект практически отсутствует при входных кромках отверстий, просверленных твердосплавным ЛС. Такая разница может объясняться тем обстоятельством, что быстрорежущее ЛС испытывает на себе абразивный износ от твердого полимерного наполнителя УТ-900, в результате чего изменяется геометрия режущих кромок инструмента.

При осевой подаче выше 40 мм/мин на некоторых входных кромках отверстий кроме “разлохмачивания” наблюдалось малое выворачивание кромки наружу (в противоположную сторону от осевой подачи).

На обратной стороне материала кромки разительно отличаются. В интервале осевой подачи 5...20 мм/мин более четкой кромкой обладают отверстия, просверленные АС, дальнейшее повышение подачи с использованием данного инструмента приводит к грубым сколам и нераскрытым отверстиям. С подачей от 20 мм/мин качество выходной кромки начинает повышаться у отверстий, обработанных твердосплавным ЛС, это хорошо заметно на отверстиях, обработанных с осевой подачей 60 мм/мин и выше. Кромки всех отверстий, просверленных быстрорежущим ЛС, характеризуются сильным “разлохмачиванием” и выпуклостью (табл. 3).

Как видно из таблиц, кромки отверстий на выходной стороне имеют более выраженные дефекты, среди них: отслоение, вспучивание, вывернутость, сколы, “разлохмачивание”, нераскрытие отверстия и т. д.

С увеличением осевой подачи осевая составляющая силы резания может превосходить силы адгезии между слоями ПКМ, что и вызывает отслоение верхнего монослоя. В случаях, когда локальные нагрузки на пучок с волокнами превосходят его прочностные характеристики, происходит скол. “Разлохмачивание” пучка говорит о высоких упругих свойствах каждого отдельного волокна. При обработке ЛС описанные дефекты выражены больше, так как в отличие от АС, где срезание припуска осуществляется всем торцом, усилия резания сосредоточены лишь на двух режущих кромках. Сколы пучков и “разлохмачивание” волокон, а также нераскрытие отверстия в основной мере происходят из-за угла при вершине сверла. Как видно из таблиц, значительная часть припуска поверхностного слоя ПКМ не срезается, а отгибается, скалывается или деформируется наружу. Величина сколов зависит от осевой составляющей силы резания. К аналогичным заключениям пришли при сверлении стеклопластика [5].

Важно отметить, что после сверления алмазным инструментом нескольких отверстий с осевой подачей 10 мм/мин и выше, абразивная коронка засаливается, а полость сверла забивается прижженным стержнем из обрабатываемого материала (рис. 2), что приводит к интенсификации дымовыделения в процессе последующего сверления отверстий. Это объясняется тем, что связующее, испытывавшее термическую деструкцию, в процессе сверления облепывает абразивную коронку инструмента, не дает возможности обнажить абразивные зерна и тем самым устраняет условия самозатачивания инструмента.

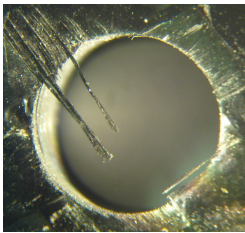
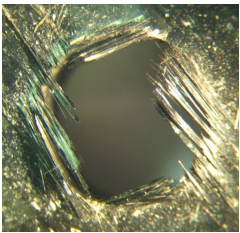
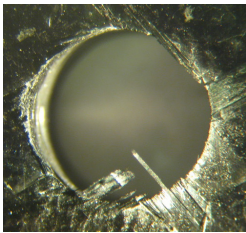
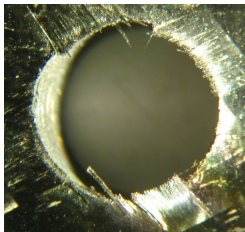
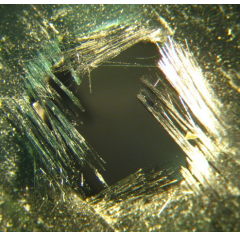
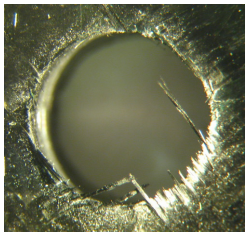
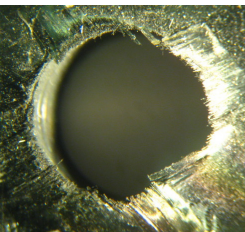
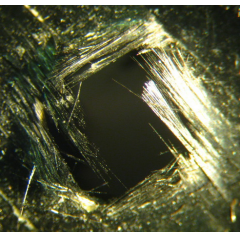
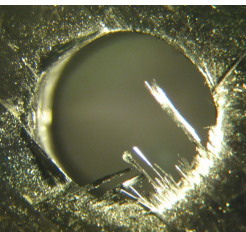
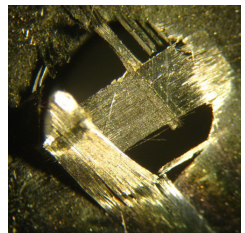
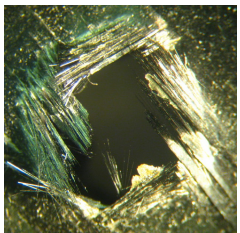
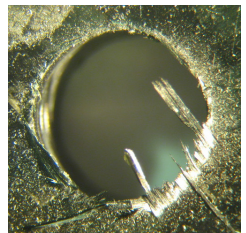
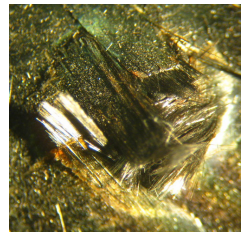
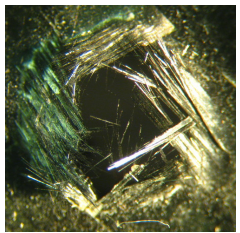
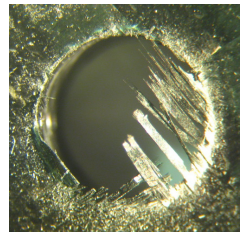
Результаты. Обработка углепластика абразивным инструментом при частоте вращения 3000 об/мин в диапазоне подач 5...10 мм/мин обеспечивает требуемое качество поверхности и кромок отверстия. Однако при обработке углепластика абразивными кольцевыми сверлами с осевой подачей 10 мм/мин и выше вскрыто три весомых недостатка:

- абразивная коронка быстро засаливается;
- полость кольцевого сверла быстро забивается керном;

— отверстия не раскрываются даже при существенном выходе инструмента из обрабатываемой детали (4 мм).

Таблица 3

Влияние осевой подачи на качество выходных кромок

S, мм	Тип сверла		
	Кольцевое, алмазное	Спиральное, Р6М5	Спиральное, ВК6
5			
20			
40			
60			
100			

Первые два недостатка приводят к высокому уровню теплонапряженности и появлению тепловых прижогов. Последний — не удовлетворяет требованиям, предъявляемым к качеству кромок отверстий.

Обработка углепластика лезвийным инструментом из быстрорежущей стали Р6М5 и твердого сплава ВК6 имеет разительные отличия с заметным преимуществом у последнего.

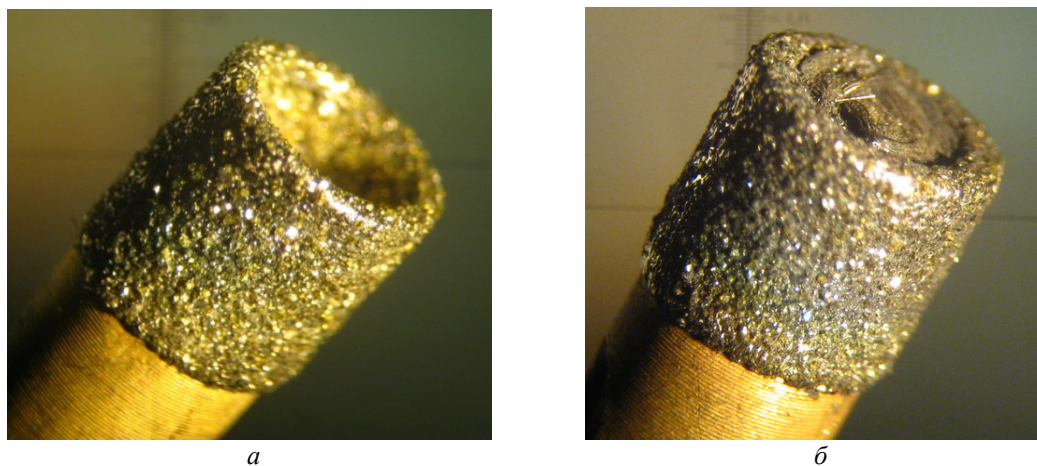


Рис. 2. Засаливание и забивание кольцевого сверла при сверлении углепластика: не использованное (а); после сверления нескольких отверстий (б)

Выводы. Дальнейшее повышение точности формы и качества поверхности возможно путем оптимизации режимов резания при алмазном сверлении, обеспечивающем обработку в пределах критической температуры материала (160...300°C) с применением твердых технологических смазок. Дальнейшее повышение производительности обработки углепластика при сохранении заданных параметров качества возможно путем оптимизации режимов резания при лезвийном сверлении.

Литература

1. Дударев, А.С. Вопросы получения отверстий в элементах звукопоглощающих панелей авиационных двигателей из композиционных материалов / А.С. Дударев // VIII Всероссийская научно-техническая конференция “Аэрокосмическая техника и высокие технологии”. Сб. тезисов. — Пермь: ПГТУ, 2005. — С. 45.
2. Балыков, А.В. Адаптивное управление алмазным сверлением неметаллических материалов / А.В. Балыков, Ю.П. Сердобинцев, Л.С. Листунов // Стекло и керамика. — 2007. — № 3. — С. 28 — 30.
3. Дударев, А.С. Конструкции сверл и фрез для алмазно-абразивной обработки стеклопластиков и углепластиков / А.С. Дударев // Изв. ТулГУ. Техн. науки. — 2012. — Вып. 1. — С. 361 — 370.
4. Шепелев, А.А. Алмазно-абразивный инструмент для обработки полимерных композиционных материалов / А.А. Шепелев, В.Г. Сороченко, С.В. Рябченко, А.А. Шепелев (мл.) // Оборудование и инструмент для профессионалов. Серия: Металлообработка. — 2013. — № 2. — С. 30 — 31.
5. Мелентьев, Р.Ю. Особенности механической обработки полимерных композиционных материалов / Р.Ю. Мелентьев, В.В. Натальчишин // Зб. наук. праць НУК. — 2013. — № 4. — С. 30 — 34.

References

1. Dudarev, A.S. (2005). To the receiving holes in the elements of sound-absorbing panels of aircraft engines made from composite materials. In *Proceedings of 8th All-Russian Conference on Aerospace Engineering and High Technologies* (p. 45). Perm, Russia: Perm State Technical University.
2. Balykov, A.V., Serdobintsev, Yu.P. and Listunov, L.S. (2007). Adaptive control for diamond drilling of non-metal materials. *Glass and Ceramics*, 3, 28-30.
3. Dudarev, A.S. (2012). Designs of drills and mills for diamond processing of polymeric composite materials. *Proceedings of the Tula State University: Technical Science*, 1, 361-370.
4. Shepelev, A.A., Sorochenko, V.G., Riabchenko, S.V. and Shepelev, A.A. (Jr.) (2013). Diamond abrasive tool for processing of polymeric composite materials. *Equipment and Tools for Professionals: Metalworking*, 2, 30-31.

5. Melentiev, R.Yu. and Natalchishin, V.V. (2013). Specific features of mechanical processing of polymeric composite materials. *Collection of Scientific Publications of the National University of Shipbuilding*, 4, 30-34.

АНОТАЦІЯ / АННОТАЦИЯ / ABSTRACT

Р.Ю. Мелентьев, В.В. Натальчишин. Особенности свердління вуглепластиків. Обробка різанням полімерних композиційних матеріалів (ПКМ) має ряд специфічних особливостей. Наведено класифікацію ПКМ, виконано огляд відомих специфічних особливостей, описано останні досягнення і прийоми підвищення якості і продуктивності обробки ПКМ. Для вивчення процесу свердління вуглепластиків проведено попередній експеримент, детально описано найбільш важливі його параметри. Наведено таблиці з численними графічними матеріалами. За результатами експерименту проведено порівняння якості поверхонь отворів і точності форми кромки, отриманих лезовим і алмазним інструментами, встановлений вплив матеріалу лезового інструменту на параметри точності крайки. Підтвердилися типові і виявилися нові дефекти і умови їх виникнення. Виявлено проблему швидкого засалювання, і поставлено проблему забивання алмазного інструменту. Запропоновано перспективні шляхи обробки вуглепластиків.

Ключевые слова: алмазно-абразивне свердління, лезвийне свердління, полімерний композиційний матеріал, вуглепластик, зколки.

Р.Ю. Мелентьев, В.В. Натальчишин. Особенности сверления углепластиков. Обработка резанием полимерных композиционных материалов (ПКМ) обладает рядом специфических особенностей. Приведена классификация ПКМ, выполнен обзор известных специфических особенностей, описаны последние достижения и приемы повышения качества и производительности обработки ПКМ. Для изучения процесса сверления углепластиков проведен предварительный эксперимент, детально описаны наиболее важные его параметры. Приведены таблицы с многочисленными графическими материалами. По результатам эксперимента проведено сравнение качества поверхностей отверстий и точности формы кромки, полученных лезвийным и алмазным инструментами, установлено влияние материала лезвийного инструмента на параметры точности кромки. Подтвердились типичные и выявились новые дефекты и условия их возникновения. Выявлена проблема быстрого засаливания и поставлена проблема забивания алмазного инструмента. Предложены перспективные пути обработки углепластиков.

Ключові слова: алмазно-абразивное сверление, лезвийное сверление, полимерный композиционный материал, углепластик, сколы.

R.Yu. Melentiev, V.V. Natalchishin. Peculiarities of carbon fiber drilling. At polymeric composite materials (PCM) machining we face a number of specific features. The research refers to PCMs classification, exposing an overview of known specific features described in the latest advances and techniques to improve the quality and efficiency in PCM processing.. To study the carbon fiber drilling a preliminary experiment has been conducted, which essential parameters and issues have been described with respective data Tables and numerous images. The holes surface quality and edges dimensional accuracy have been compared for samples obtained using a blade and a diamond tool; established is the instrument blade material impact on the edges' precision parameters. Confirmed are the typical and revealed some new types of imperfections and their occurrence conditions. The problem of rapid clogging and related diamond tool clogging problem are identified. Some promising ways of processing of carbon fiber are offered.

Keywords: diamond-scouring drilling, blade drilling, polymer composites, carbon fiber, chips.

Рецензент д-р техн. наук, проф. Одес. нац. политехн. ун-та Лебедев В.Г.

Поступила в редакцию 8 мая 2014 г.