

УДК621.993.2

НАРЕЗАНИЕ РЕЗЬБ В ЗАГОТОВКАХ ИЗ ВОЛОКОННО-АРМИРОВАННЫХ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

И.А. Щуров, А.В. Никонов

Резание заготовок из волоконно-армированных композитных материалов (ВКМ) сопровождается разрушением их поверхностного слоя, появлением ворсистости, отрыва волокон, что оказывает неблагоприятное влияние на последующую эксплуатацию изделий. Исследование направлено на выявление указанных явлений при резьбонарезании. В ходе экспериментов было изготовлено три образца с отверстиями из различных армирующих элементов и связующих. Нарезание резьбы М10 проводилось на токарно-винторезном станке 1К62 машинным метчиком 2621-1433 ГОСТ 3266–81. На основе оценки качества полученных внутренних резьб сделан вывод о применимости в целом стандартных метчиков для обработки данных видов композитов. Однако выявлено, что необходимы дополнительные исследования по улучшению качества получаемых деталей.

Ключевые слова: резьбообработка, волоконно-армированный композит, метчик.

Несмотря на то, существующие технологии изготовления изделий из волоконно-армированных композитных материалов (ВКМ) чаще всего направлены на изготовление готовых деталей, такие детали в дальнейшем также могут подвергаться механической обработке. Процесс лезвийной обработки таких заготовок имеет ряд особенностей, выделяющих эту обработку от резания однородных материалов, в частности металлов [1–2]. Анизотропия свойств, обработка одновременно двух чередующихся материалов, обладающих различными свойствами, специфические дефекты, свойственные только ВКМ, делают крайне сложной задачу обеспечения высокого качества обработанной поверхности и обуславливают необходимость проведения глубоких исследований в данной области.

В настоящее время наибольшее распространение получили следующие виды соединений композитных материалов [3]: склеивание, клепка, болтовое соединение. Данные методы не лишены недостатков, в частности клепка и склеивание не обеспечивают разборные соединения, а болтовые соединения способствуют увеличению массы изделия. Применение резьбовых соединений позволит избежать данных недостатков, к тому же они характеризуются простотой исполнения, малыми осевыми размерами и массой [4], однако данный метод в настоящее время мало изучен и практически не применяется. В известной статье [5] авторы делают вывод о при-

менимости операции нарезания внутренней резьбы в заготовке из углеволоконного композитного материала. Отмечается целесообразность применения стандартных машинных быстрорежущих метчиков мелкосерийном производстве и твердосплавных для крупносерийного типа производства [4]. В других работах [6–7] приведены рекомендации по применению абразивных и алмазных инструментов.

Таким образом, для оценки качества внутренней резьбы в заготовках из ВКМ и уточнения проблемы необходимо было провести предварительные эксперименты.

Был проведен ряд экспериментов по нарезанию резьб в заготовках из различных композитных материалов. В лаборатории «Композиционные материалы» ЮУрГУ было изготовлено 3 образца:

- 1) на основе низковязкой модифицированной эпоксидной диановой смолы Этал-30, армированной эмульсионным стекломатом EMC-600 (рис. 1а);
- 2) на основе эпоксидной смолы ЭД-20, смешанной с отвердителем Этал-45М, армированной углеродной тканью 2/2 ЗК-1200-245 (рис. 1б);
- 3) на основе полиэфирной смолы нетиксотропной, предускоренной, низкой вязкости на ортофталиевой основе G 105 E, армированной эмульсионным стекломатом EMC-300 (рис. 1в).

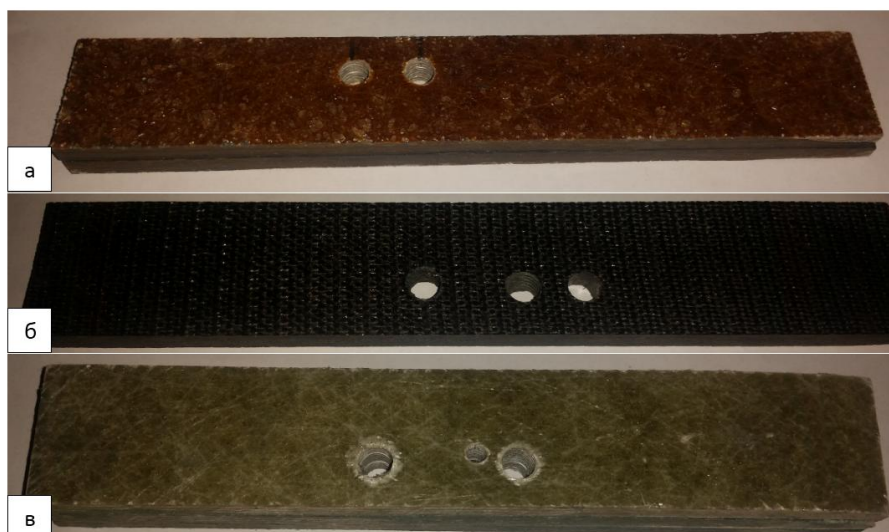


Рис. 1. Образцы для испытаний: а – Этал-30/EMC-600;
б – Этал-45М/2/2 ЗК-1200-245; в – G 105 E/ EMC-300

Технические характеристики данных смол приведены в табл. 1–3.

Обработка осуществлялась на широко распространенном токарно-винторезном станке 1К62. Заготовку из композита соединяли по одной из ее фасадных плоскостей с аналогичной по форме и размерам стальной плитой толщиной 18 мм. В стальной плите были предварительно получены отверстия с диаметром на 2 мм превышающим предполагаемый диаметр резьбы в композитной заготовке. Такая конструкция с помощью стальной

пластины закреплялась подобно резцам в резцедержателе станка. С противоположной стороны композитной заготовки располагался метчик, который в свою очередь закреплялся в шпинделе станка. Предварительно в шпинделе станка закреплялось спиральное сверло 2301-3572 ГОСТ 10903 77, с помощью которого в композитной заготовке были получены отверстия $\varnothing 8,5$. При сверлении заготовок из ВКМ в граничном слое на поверхности выхода отверстия возникают отслаивание и разлохмачивание, вызванные отсутствием должного перерезания волокон режущими кромками сверла. Как известно, такое явление возникает из-за отсутствия требуемой поддержки граничного слоя [1]. Для минимизации данных дефектов композитные образцы закреплялись с помощью струбцин между древесноволокнистыми плитами. Далее нарезание резьбы М10 осуществлялось машинным метчиком 2621-1433 ГОСТ 3266–81.

Таблица 1

Свойства эпоксидной смолы Этал 370

Показатель	Значение
Соотношение смоляная часть:отвердитель	100:50
Вязкость см.ч.+отв-ль, при $T = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$, по ВЗ-4, мин, не более	7
Вязкость см.ч.+отв-ль, при $T = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$, по Брукфильду, СПз, не более	2200
Жизнеспособность в массе 200 грамм, при $T = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$, мин, не менее	60
Время отверждения при $T = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$, часов	24
Температура экзотермической реакции в массе 200 грамм, $^{\circ}\text{C}$	70
Прочность при растяжении, МПа, не менее	70
Прочность при статическом изгибе, МПа, не менее	120
Теплостойкость по Мартенсу, $^{\circ}\text{C}$, не менее	70–80

Таблица 2

Свойства эпоксидной смолы ЭД-20

Показатель	Значение
Внешний вид	Медоподобная желтоватая жидкость. Легко окрашивается
Плотность при $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\text{кг}/\text{м}^3$	1,16–1,25
Прочность при растяжении, МПа	40–90
Прочность при изгибе, МПа	80–140
Прочность при сжатии, МПа	100–200
Температура полимеризации, $^{\circ}\text{C}$	От 20
Время полимеризации	1,5 часа
Время полной полимеризации	24 часа
Водопоглощение за 24 ч, %	0,01–0,1
Ударная вязкость, $\text{кДж}/\text{м}^2$	5–25
Теплостойкость, $^{\circ}\text{C}$	55–170
Вязкость при $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\text{мПа}\cdot\text{с}$	4000
Ударная вязкость, $\text{кДж}/\text{м}^2$	19

Таблица 3

Свойства полиэфирной смолы G 105 E

Показатель	Значение
Твердость, Баркол	45
Температура начала термической деформации (HDT, 1,81 МПа), °С	66
Сопротивление изгибу, мПа	90
Модуль гибкости, мПа	4100
Удлинение на разрыв, мПа	55
Модуль удлинения, мПа	3600
Относительное удлинение при разрыве, %	3,5

Фотографии полученных резьбовых отверстий приведены на рис. 2. На рис. 3 приведено сравнение плоскостей выхода в зависимости от наличия древесноволокнистых плит.

В результате экспериментальных исследований процесса резьбонарезания в композитных заготовках были получены следующие результаты.

1. На поверхностях входа и выхода наблюдаются отслаивания, разломачивания и отрывы армирующих волокон (рис. 3). В большей степени наблюдаемые дефекты проявляются у образца Этал-30/EMC-600 (рис. 3б, д).

2. Из рис. 3 видно, что минимизации указанных дефектов, в случае образцов Этал-45М/2/2 ЗК-1200-245 и G 105 E/EMC-300 М10, удалось добиться за счет установки образцов между древесноволокнистыми плитами, чем удалось обеспечить лучшее перерезание армирующих волокон в граничном слое.

3. На поверхности резьбы отсутствуют ярко выраженные дефекты.

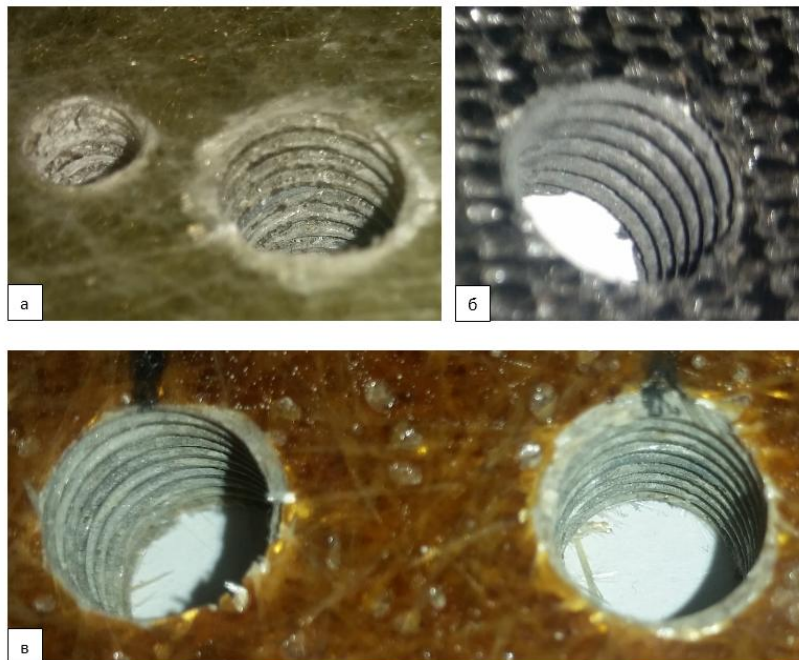


Рис. 2. Фотографии полученных резьбовых отверстий:
а – G 105 E/ EMC-300 М10 и М6; б – Этал-45М/2/2 ЗК-1200-245;
в – Этал-30/EMC-600

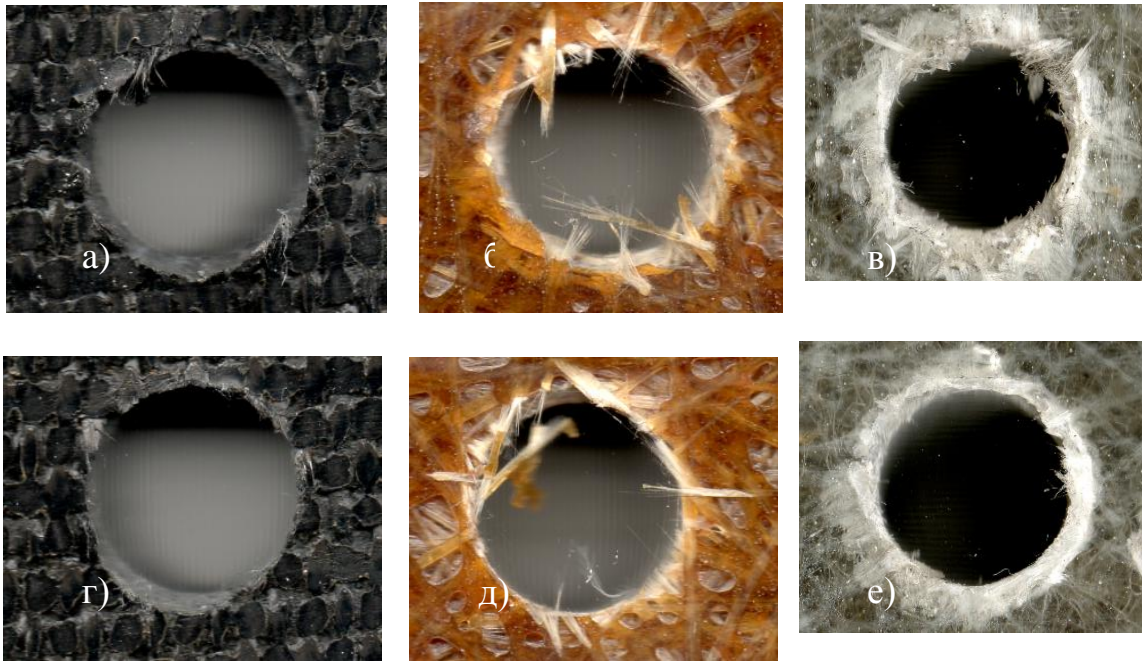


Рис. 3. Поверхности выхода резьбообрабатывающего инструмента:
сверху – без установки древесноволокнистых плит, снизу – с установкой:
а, г – Этал-45М/2/2 3К-1200-245; б, д – Этал-30/ЕМС-600;
в, е – G 105 E/ ЕМС-300 M10

Заключение. Полученные результаты говорят о применимости операции резьбонарезания для обработки ВКМ. В дальнейшем предполагается произвести эксперименты по нарезанию резьб в заготовках из однонаправленных ВКМ, металломатричных ВКМ, а также слоистых композитных материалов. Далее планируется произвести оценку таких показателей качества резьбовых соединений, как статическая прочность, усталостная прочность, стопорящие свойства и их стабильность.

Библиографический список

1. Hocheng, H. (2012) Machining technology for composite materials. Principles and Practice. Cambridge: Woodhead Publishing Limited: 472 p.
2. Zemann R., Sacherl J., Hake W., Bleicher F. (2014) New Measurement Processes to Define the Quality of Machined Fibre Reinforced Polymers. Procedia Engineering 100: 636–645.
3. H. Schürmann, Construction with Fibre Reinforced Polymers, „Konstruieren mit Faser-Kunststoff-Verbunden“, Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 2007.
4. Справочник по композиционным материалам: в 2-х кн. Кн. 2 / под ред. Дж. Любина; пер. с англ. А.Б. Геллера и др.; под ред. Б.Э. Геллера. – М.: Машиностроение, 1988. – 584 с.
5. Zeman, R. Manufacturing of threads direct into a carbon fibre reinforced polymer / R. Zeman // Materials Today: Proceedings 3 (2016): 1226–1229.

6. Bratukhin, A.G. Composite Manufacturing Technology / A.G. Bratukhin, V.S. Bogolyubov // Soviet Advanced Composites Technology Series. – Springer Netherlands. – 1995. – P. 433.

7. Каримов, И. Детали машин. Электронный учебный курс для студентов очной и заочной форм обучения [Электронный ресурс] / И. Каримов. – URL: http://www.detalmach.ru/composit6.htm#_Фрезерование_изделий_из.

[К содержанию](#)