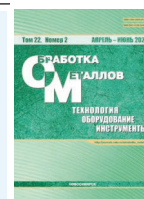




Обработка металлов (технология • оборудование • инструменты)

Сайт журнала: http://journals.nstu.ru/obrabotka_metallov



Исследование влияния технологических параметров на прочность резьбового соединения в деталях из углепластика

Андрей Марков^а, Вячеслав Некрасов^{б,*}, Азхар Салман^с, Сергей Гайст^д, Цзянь Су^е

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, пр. Ленина, 46, г. Барнаул, 656038, Россия

^а <https://orcid.org/0000-0002-3101-9711>, andmarkov@inbox.ru, ^б <https://orcid.org/0000-0002-8122-4641>, sla44@mail.ru,
^с <https://orcid.org/0000-0002-6584-1439>, azharmansoor76@gmail.com, ^д <https://orcid.org/0000-0001-8697-6263>, sergei-gaist@mail.ru,
^е <https://orcid.org/0000-0001-5120-3623>, 278507234@qq.com

ИНФОРМАЦИЯ О СТАТЬЕ

УДК 621.7.01

История статьи:

Поступила: 14 марта 2020
Рецензирование: 02 апреля 2020
Принята к печати: 23 апреля 2020
Доступно онлайн: 15 июня 2020

Ключевые слова:

Внутренняя резьба
Сверление
Режимы нарезания резьбы
Прочность резьбового соединения
Факторный эксперимент
Детали из углепластика

АННОТАЦИЯ

Введение. Достижения в разработке композиционных материалов с новыми эксплуатационными свойствами расширяют их применение в машино- и приборостроении как в гражданской, так и в оборонной отрасли. При этом существующие технологии получения композитов не обеспечивают достаточных показателей точности деталей, поэтому механическая обработка по-прежнему остается основным способом достижения необходимого качества. Несмотря на широкие технологические возможности лезвийной обработки, высокие абразивные свойства и неоднородность структуры углепластиков накладывают ряд ограничений и затрудняют выбор параметров обработки особенно при изготовлении внутренней резьбы. Помимо режимов обработки существенное влияние на качество резьбового соединения оказывает диаметр предварительно просверленного отверстия. Несмотря на уже выполненные исследования в области механической обработки углепластиков, ряд вопросов не получили достаточной проработки. **Цель работы** – получение зависимости между параметрами обработки отверстия и резьбы, а также диаметром отверстия и качеством резьбового соединения для обеспечения заданных прочностных характеристик резьбового соединения. **Предлагается** методика и приводятся результаты экспериментального исследования прочности резьбового соединения, состоящего из детали из углепластика с внутренней резьбой и винта из конструкционной стали, в осевом направлении при равномерном вдавливании винта с определением максимального усилия сопротивления разрушению. **Методы исследования:** для резьбовых соединений диаметром М6, М7 и М8 проведен полный факторный эксперимент по выявлению зависимости прочности резьбового соединения от таких режимных параметров, как скорость резания и подача при сверлении и скорость резания при нарезании резьбы. Для контроля максимального усилия сопротивления разрушению, характеризующего прочность резьбового соединения, использовалась универсальная электромеханическая испытательная машина модели Instron-3369. **Результаты и обсуждение.** Сравнительный анализ результатов испытаний показывает, что для образцов с резьбой диаметром М6 максимальное усилие сопротивления разрушению составило от 5,7 до 6,4 кН. Но при минимальной подаче сверления в сочетании с минимальной скоростью нарезания резьбы максимальное усилие нагрузки не превысило 3,8 кН. Аналогичные результаты получены при испытании образцов с диаметром резьбы М8 и М10.

Для цитирования: Исследование влияния технологических параметров на прочность резьбового соединения в деталях из углепластика / А.М. Марков, В.Н. Некрасов, А.М. Салман, С.В. Гайст, С. Цзянь // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2020. – Т. 22, № 2. – С. 6–15. – DOI: 10.17212/1994-6309-2020-22.2-6-15.

Введение

Детали из углепластика находят все большее применение в аэрокосмической, воздушной и военной технике, при изготовлении авто- и мото-транспорта, медицинского и исследовательского

оборудования, бытовых приборов и во многих других сферах деятельности человека [1, 2]. В большинстве изделий одним из самых используемых методов крепления является резьбовое соединение. Основным показателем качества резьбы служит ее способность нести нагрузку.

В случаях невозможности или сложности получения внутренних резьбовых поверхностей в углепластике на заготовительном этапе [3, 2] применяют сверление и резьбонарезание. Высокие абразивные свойства, неоднородность струк-

*Адрес для переписки

Некрасов Вячеслав Николаевич, к.т.н., доцент
Алтайский государственный технический университет
им. И.И. Ползунова,
пр. Ленина, 46,
656038, г. Барнаул, Россия
Тел.: 8 (3852) 29-08-94, e-mail: sla44@mail.ru

туры материала, анизотропность определяют значительные затраты на лезвийную обработку [1, 4, 5]. Несмотря на наличие большого количества научных и практических публикаций, посвященных механической обработке композиционных материалов [1, 4–6], до сих пор остаются проблемы обеспечения заданного качества при проектировании операций предварительного сверления и нарезания резьбы.

Традиционно считалось, что наибольшее влияние на появление брака при лезвийной обработке углепластиков оказывают особенности структуры и механических свойств материала заготовки [7–9]. Однако практика обработки отверстий под резьбу и нарезания резьбы в углепластике показывает, что появление дефектов на внутренних поверхностях зависит не только от свойств обрабатываемого материала, но и геометрии инструмента [10, 11], параметров режимов резания [12], стратегии обработки отверстия [13, 14]. Наиболее характерными дефектами при сверлении таких материалов являются сколы, вырывы наполнителя, трещины в матрице, расслоение (деламинация) и т. п. [8, 15]. В зависимости от значения режимов резания можно получить обработанную поверхность с большим количеством дефектов или гладкой монолитной поверхностью и низким уровнем шероховатости [16] (рис. 1). Если витки будут нарезаться в уже «разломанной» поверхности с явными признаками расслоения наполнителя и матрицы (рис. 1, б), то возможно нарушение формы и снижение жесткости витков [8, 19, 20].

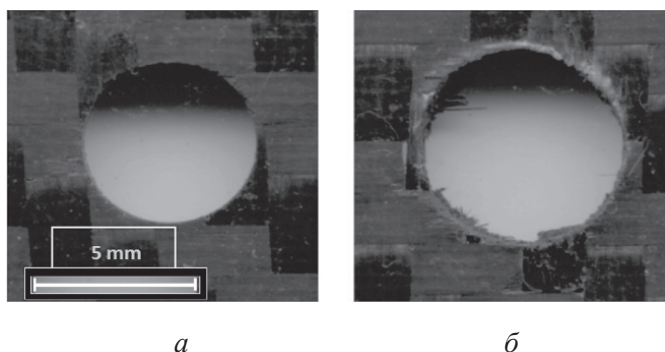


Рис. 1. Дефекты обработанной поверхности при сверлении в зависимости от подачи:

$a - S = 0,10 \text{ мм/об}$; $б - S = 0,02 \text{ мм/об}$

Fig. 1. Defects of the machined surface during drilling, depending on the feed:

$a - S = 0,10 \text{ мм/р}$; $б - S = 0,02 \text{ мм/р}$

Как известно, одним из параметров, влияющих на прочность резьбового соединения в конструкции с деталями из углепластика, является диаметр отверстия, предварительно просверленного для нарезания резьбы [17, 18]. Кроме того, если витки будут нарезаться в уже «разломанной» поверхности с явными признаками расслоения наполнителя и матрицы (рис. 1б), то возможно нарушение формы и снижение жесткости витков [8, 19, 20].

Отсутствие зависимостей, связывающих режимы обработки резьбы, а также ее геометрические параметры с прочностью полученного резьбового соединения значительно осложняют процесс конструкторского и технологического проектирования, а следовательно, обеспечение заданных эксплуатационных характеристик резьбового соединения.

В связи с этим **целью** исследования является получение зависимости между параметрами обработки отверстия и резьбы, а также диаметра отверстия и качеством резьбового соединения для обеспечения заданных прочностных характеристик резьбового соединения. Для достижения цели необходимо решить следующие **задачи**: 1) установить влияние режимов обработки при сверлении предварительного отверстия и нарезании внутренней резьбы в деталях из углепластика на прочность резьбового соединения; 2) оценить значимость отклонения диаметра предварительно просверленного отверстия под резьбу для прочности резьбового соединения; 3) определить область применения результатов исследования.

Методика исследования

Первая часть экспериментальных исследований посвящена установлению взаимосвязи между параметрами режимов резания и качеством обработанной поверхности при сверлении углепластика. Использовалась методика полного факторного эксперимента. Для исследования подготавливались образцы из листового углепластика толщиной 8 мм. Обработка выполнялась спиральными сверлами с цилиндрическим хвостовиком. Рабочая часть сверла – быстрорежущая сталь Р6М5 (ГОСТ 10902–77). Диаметр отверстия для нарезания резьбы определялся с использованием ГОСТ 24705–2004, поскольку в

литературе нет однозначных рекомендаций. Исследования проводились для метрических резьб диаметром М6, М8 и М10.

В связи с тем что глубина резания при сверлении определяется радиусом отверстия, в качестве управляемых параметров режимов резания выбраны скорость резания и подача. При нарезании резьбы изменялась только скорость резания.

Границы варьирования скорости резания при сверлении ($V_{\text{сверл}}$) составили: нижняя граница 5 м/мин; верхняя – 60 м/мин. Подача при сверлении ($S_{\text{сверл}}$) принималась в интервале: нижняя граница 15 мм/мин; верхняя – 450 мм/мин. При нарезании резьбы скорость резания ($V_{\text{резьб}}$) назначалась в границах: нижняя – 5 м/мин; верхняя – 15 м/мин.

Порядок выполнения исследования проводился согласно составленной матрице планирования полного факторного эксперимента (табл. 1). Повторяемость опытов для каждой из комбинаций параметров составила не менее трех.

Оценка прочности резьбового соединения производилась с использованием универсальной электромеханической испытательной машины модели Instron- 3369. При испытании винт из конструкционной стали предварительно вкручивался в образец на всю длину резьбы с выходом кончика винта на три витка.

Испытание выполнялось путем приложения осевой нагрузки на головку винта с помощью траверсы через датчик нагрузки с последующим разрушением внутренней резьбы в образце из

углепластика, т. е. до момента, когда соединение не могло воспринимать нагрузку и лишалось способности сопротивляться разрушению (рис. 2).

Результаты и их обсуждение

Сравнительный анализ результатов испытаний указывает, что для образцов с резьбой диаметром М6 максимальное усилие сопротивления разрушению составило от 5,7 до 6,4 кН. При этом для образцов, резьбовое отверстие которых изготовлено с минимальной подачей сверления в сочетании с минимальной скоростью нарезания резьбы, максимальное усилие нагрузки не превысило 3,8 кН (рис. 3).

Аналогичные результаты получены при испытании образцов с другими диаметрами резьбы: для образцов с диаметром резьбы М8 максимальное значение сопротивления разрушению составило 7,8 кН. Для образцов с диаметром М10 – 10,5 кН.

Применение метода полного факторного эксперимента позволяет получить математические зависимости, описывающие влияние входных параметров процесса на выходные. Для каждого диаметра резьбы получены зависимости, устанавливающие взаимосвязь между параметрами режимов обработки и предельного максимального осевого усилия (P), приводящего к разрушению резьбового соединения (табл. 2).

Полученные зависимости могут быть использованы для разработки рекомендаций по

Таблица 1

Table 1

Матрица планирования эксперимента на примере изготовления образцов с резьбой М6

Experiment planning matrix using an example of manufacturing samples with M6 thread

Номер серии / Batch number	$V_{\text{сверл}} / V_{\text{drill}}$		$S_{\text{сверл}} / S_{\text{drill}}$		$V_{\text{резьб}} / V_{\text{thread}}$	
	Уровень / Level	м/мин / m/ min	Уровень / Level	мм/мин / mm/min	Уровень / Level	м/мин / m/ min
1	+	60	+	450	+	15
2	+	60	+	450	–	5
3	+	60	–	15	+	15
4	+	60	–	15	–	5
5	–	5	+	450	+	15
6	–	5	+	450	–	5
7	–	5	–	15	+	15
8	–	5	–	15	–	5



Рис. 2. Испытание прочности резьбового соединения (испытательная машина 3369 Instron)

Fig. 2. Threaded connection Strength Test (Instron 3369 Test Machine)

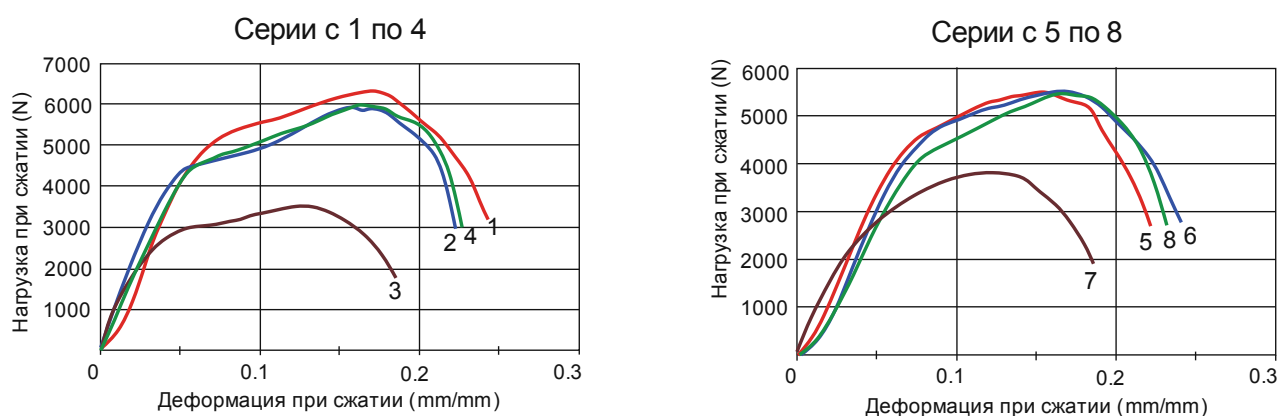


Рис. 3. Усилия сопротивления разрушению резьбового соединения М6 в зависимости от величины перемещения траверсы испытательной машины (средние значения по результатам трех испытаний)

Fig. 3. The resistance to destruction of the threaded connection M6 depending on the amount of movement of the crosshead of the test machine (average values according to the results of 3 tests)

Таблица 2

Table 2

Зависимости, устанавливающие взаимосвязь между режимами обработки и прочностью резьбового соединения

Dependencies that establish the relationship between processing modes and the strength of the threaded connection

Размер резьбы / Thread size	Расчетная зависимость усилия разрушения резьбового соединения от режимов обработки / The calculated dependence of the fracture force of the threaded connection on the processing conditions
M6	$P = 1,6 V_{\text{сверл}}^{0,004} S_{\text{сверл}}^{0,977} V_{\text{резьб}}^{-0,124}$
M8	$P = 1,9 V_{\text{сверл}}^{0,006} S_{\text{сверл}}^{0,127} V_{\text{резьб}}^{-0,105}$
M10	$P = 0,02 V_{\text{сверл}}^{0,128} S_{\text{сверл}}^{0,156} V_{\text{резьб}}^{-0,091}$

назначению режимов обработки с целью получения максимальной прочности резьбового соединения в деталях из углепластика.

Вторая часть экспериментальных исследований касалась оценки влияния величины диаметра предварительно просверленного отверстия для нарезания резьбы на прочность резьбового соединения. При различных исходных диаметрах отверстий резьбовое соединение может менять прочностные характеристики. Формирование профиля резьбы в композиционных материалах осложняется их слоистой структурой, склонной к расслаиванию и деламинеции при сложных условиях резания. Исследования зоны резания показывают, что формирующиеся в процессе резания винтовые поверхности пересекают слои матрицы и наполнителя под острым углом к плоскостям пересечения слоев (рис. 4) и тем самым увеличивают риск расслаивания углепластика [5, 21].

При больших значениях диаметра отверстий получается неполный профиль витков резьбы (рис. 5). Это может, с одной стороны, уменьшить прочность резьбового соединения, поскольку суммарная площадь витков, воспринимающих нагрузку, уменьшается, способность сопротивляться разрушению снижается. С другой – может уменьшиться количество витков с пересечением слоев материала под острым углом, что снижает вероятность расслоения материала при нарезании резьбы и тем самым увеличивает целостность и прочность витков.

В случаях, когда диаметр предварительно просверленного отверстия под резьбу меньше нормы, при вкручивании винта происходит смятие внутренней резьбы резьбовой поверхностью

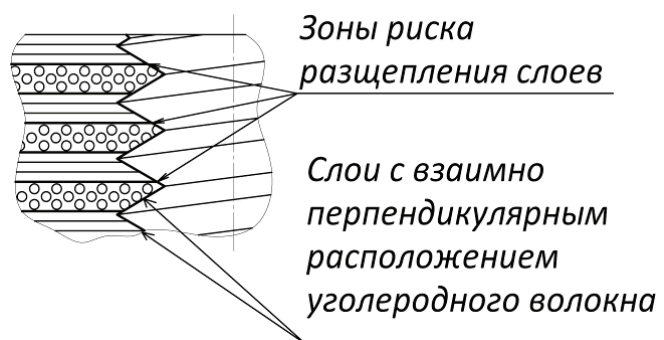


Рис. 4. Схема резьбовой поверхности в углепластике
Fig. 4. The scheme of the threaded surface in carbon fiber

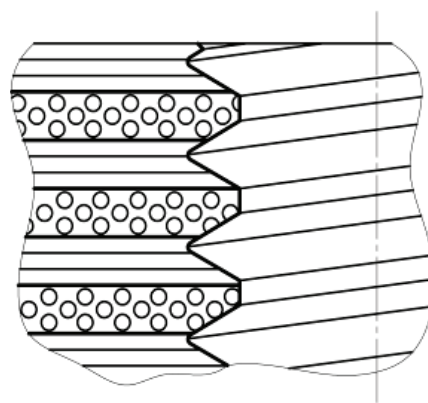


Рис. 5. Схема пересечения слоев углепластика и резьбовой поверхности при неполном профиле витков

Fig. 5. The intersection of the layers of carbon fiber and a threaded surface with an incomplete profile of turns

стального винта. С одной стороны, это увеличивает плотность посадки и жесткость резьбового соединения, с другой – смятие кромок резьбы в углепластике чаще всего провоцирует появление трещин в связующем и разрушает углеродные волокна. Это, в свою очередь, приводит к снижению прочности витков резьбы в углепластике (рис. 6).

Для получения числовой оценки влияния диаметра предварительно полученного отверстия на прочность резьбового соединения были подготовлены образцы из пластины углепластика толщиной 8 мм. Параметры режимов резания выбирались из условий обеспечения максимальной прочности резьбового соединения на основе результатов, полученных в первой части экспериментальных исследований.

Интервал диаметров отверстий для резьбы варьировался с шагом 0,2 мм в обе стороны от



Рис. 6. Схема смятия острых кромок резьбы при вкручивании винта в деталь из углепластика

Fig. 6. The scheme of crushing sharp edges of the thread when screwing a screw into a carbon fiber part

стандартного диаметра. Таким образом, для резьбы М6 выбирался диаметр $D = 4,8 \dots 5,2$ мм; для резьбы М8 $D = 6,5 \dots 6,9$ мм; для резьбы М10 $D = 8,3 \dots 8,7$ мм. Для каждого диаметра изготавливалось по три образца. Испытание прочности резьбы выполнялось по аналогичной схеме, описанной выше.

В результате испытаний установлено, что для резьбового соединения М6 при диаметре отверстия 4,8 мм максимальное значение сопротивления разрушению составило 6,8 кН (рис. 7), тогда как для отверстия 5,2 мм максимальное значение сопротивления не превысило 6 кН (рис. 8). Разница составляет 13 %. Результаты, полученные для резьбового соединения М8, показали разницу в 8 %, а для М10 – 2 %.

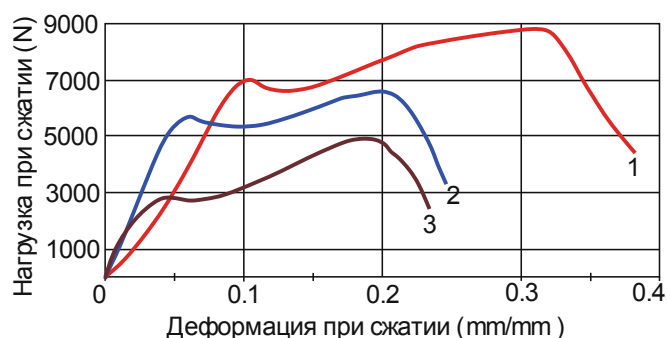


Рис. 7. График зависимости усилия сопротивления разрушению резьбового соединения М6 при диаметре исходного отверстия 4,8 мм

Fig. 7. The dependence of the force of resistance to destruction of the threaded connection M6 with a diameter of the initial hole of 4.8 mm

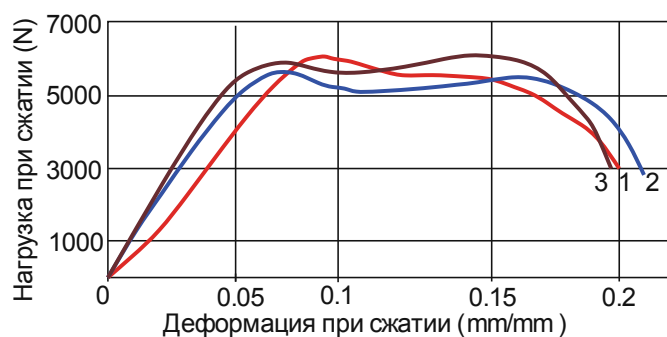


Рис. 8. График зависимости усилия сопротивления разрушению резьбового соединения М6 при диаметре исходного отверстия 5,2 мм

Fig. 8. The dependence of the force of resistance to destruction of the threaded connection M6 with a diameter of the initial hole of 5.2 mm

Выводы

1. Установлено влияние в виде степенной зависимости режимов резания при сверлении отверстия под резьбу и при ее нарезании на максимальное осевое усилие разрушения резьбового соединения в деталях из углепластика.

2. Экспериментально доказано, что с увеличением диаметра резьбы влияние значений диаметров отверстий, предварительно просверленных под резьбу, на максимальное значение сопротивления разрушению уменьшается: в рассматриваемом диапазоне размеров отверстий для резьбы М6 изменение максимальных значений сопротивления разрушению составляет 13 %, для резьбы М8 – 8 %, для резьбы М10 – 2 %.

3. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании резьбовых соединений в конструкциях из углепластика, а также могут являться элементом автоматизированной системы проектирования технологических процессов механической обработки.

Список литературы

1. Степанов А.А. Обработка резанием высокопрочных композиционных полимерных материалов. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1987. – 176 с.
2. Veazey D., Gomez E.D., Hsu T. Next generation high-performance carbon fiber thermoplastic composites based on polyaryletherketones // Journal of Applied Polymer Science. – 2017. – Vol. 134, iss. 6. – P. 44441. – DOI: 10.1002/app.44441.
3. Heo Y., Malakooti M.H., Sodano H.A. Self-healing polymers and composites for extreme environments // Journal of Materials Chemistry A. – 2016. – Vol. 4, iss. 44. – P. 17403–17411. – DOI: 10.1039/C6TA06213J.
4. Макаров В.Ф., Меишас А.Е., Ширинкин В.В. Исследование проблем механической обработки современных высокопрочных композиционных материалов, используемых для производства деталей авиационной и ракетно-космической техники // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Машиностроение, материаловедение. – 2015. – Т. 17, № 2. – С. 30–41.
5. Drilling of thick composite materials using a step gundrill / P. Rahme, Y. Landon, F. Lachaud, R. Piquet, P. Lagarrigue // Composites Part A: Applied Science and Manufacturing. – 2017. – Vol. 103. – P. 304–313. – DOI: 10.1016/j.compositesa.2017.10.016.
6. Pihliti H., Canpolat N. Investigation of different reinforced composite materials for surface roughness

and capacity of being drilled // *Journal of Composite Materials*. – 2009. – Vol. 43, iss. 19. – P. 2071–2080. – DOI: 10.1177/0021998309340934.

7. Жернаков В.С., Первушин Ю.С., Соловьев П.В. Исследование упругих характеристик углепластика с 3D структурой // *Письма о материалах*. – 2019. – Т. 9, вып. 2 (34). – С. 185–190. – DOI: 10.22226/2410-3535-2019-2-185-190.

8. Delamination prediction in orthogonal machining of carbon long fiber-reinforced polymer composites / C. Santiuste, A. Olmedo, X. Soldani, H. Miguélez // *Journal of Reinforced Plastics and Composites*. – 2012. – Vol. 31, iss. 13. – P. 875–885. – DOI: 10.1177/0731684412444654.

9. Chen W.C. Some experimental investigations in the drilling of carbon fiber reinforced composite laminations // *International Journal of Machine Tools and Manufacture*. – 1997. – Vol. 37, iss. 8. – P. 1097–1108. – DOI: 10.1016/S0890-6955(96)00095-8.

10. Карасов Т.А., Храмовских В.В., Жихарев В.С. Проблемы резания композитов с высокопрочными наполнителями // *Механики XXI века*. – 2017. – № 16. – С. 93–97.

11. Engineering method for the thermal mechanical erosion of C/C composite with the mesoscale ablation model / D. Deng, J. Yu, X. Yan, F. Huang, X. Luo // *Polymers and polymer composites*. – 2014. – Vol. 22, iss. 2. – P. 181–186. – DOI: 10.1177/096739111402200215.

12. Марков А.М., Макарова Н.А., Гайст С.В. Износ инструмента при фрезеровании стеклопластика // *Наукоемкие технологии в машиностроении*. – 2017. – № 4 (70). – С. 25–30. – DOI: 10.12737/article_58ef809026b201.73125147.

13. Рычков Д.А., Янюшкин А.С. Способ повышения эффективности производства изделий из полимерных композитов // *Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты)*. – 2016. – № 3 (72). – С. 23–30. – DOI: 10.17212/1994-6309-2016-3-23-30.

14. Экспериментальное исследование процесса формирования показателей качества при фрезеровании стеклопластика / С.В. Гайст, С.А. Катаева,

А.М. Марков, П.О. Черданцев, Е.Ю. Лапенков // *Вестник Брянского государственного технического университета*. – 2016. – № 3 (51). – С. 129–136. – DOI: 10.12737/22052.

15. Рычков Д.А., Афанасенко П.В., Кириченко О.П. Специфика изнашивания режущего инструмента при обработке полимерных композиционных материалов // *Механики XXI века*. – 2018. – № 17. – С. 135–139.

16. Machining accuracy analysis for step multi-element varying-parameter vibration drilling of laminated composite materials / Z.J. Li, M.S. Hong, H. Su, Y.L. Wei // *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. – 2003. – Vol. 21, iss. 10–11. – P. 760–768. – DOI: 10.1007/s00170-002-1391-2.

17. Марков А.М., Лебедев П.В. Зависимость силовых характеристик процесса нарезания внутренней резьбы в деталях из высокопрочных полимерных композиционных материалов // *Технология машиностроения*. – 2014. – № 12. – С. 22–25.

18. Кудряшов Е.А., Каменева Т.Е. Повышение работоспособности охватывающей фрезы с режущими элементами из композита при нарезании трапецеидальной резьбы с элементами разрыва // *Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты)*. – 2018. – Т. 20, № 1. – С. 33–43. – DOI: 10.17212/1994-6309-2018-20.1-33-43.

19. Davim J.P., Reis P. Study of delamination in drilling carbon fiber-reinforced plastics (CFRP) using design experiments // *Composite Structures*. – 2003. – Vol. 59, iss. 4. – P. 481–487. – DOI: 10.1016/S0263-8223(02)00257-X.

20. Hocheng H., Tsao C.C. Comprehensive analysis of delamination in drilling of composite materials with various drill bits // *Journal of Materials Processing Technology*. – 2003. – Vol. 140, iss. 1–3. – P. 335–339. – DOI: 10.1016/S0924-0136(03)00749-0.

21. Sedlacek J., Slany M. Analysis of delamination in drilling of composite materials // *Modern Machinery (MM) Science Journal*. – 2010. – June. – P. 192–197. – DOI: 10.17973/MMSJ.2010_06_201010.

Конфликт интересов

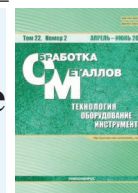
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

© 2020 Авторы. Издательство Новосибирского государственного технического университета. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)



Obrabotka metallov - Metal Working and Material Science

Journal homepage: http://journals.nstu.ru/obrabotka_metallov



Study of the Influence of Technological Parameters on the Strength of a Threaded Connection in Carbon Fiber Parts

Andrey Markov^a, Vyacheslav Nekrasov^{b, *}, Azhar Salman^c, Sergey Gayst^d, Jian Su^e

I.I. Polzunov Altai State Technical University, 46 Lenina avenue, Barnaul, Altai region, 656038, Russian Federation

^a <https://orcid.org/0000-0002-3101-9711>, andmarkov@inbox.ru, ^b <https://orcid.org/0000-0002-8122-4641>, sla44@mail.ru,
^c <https://orcid.org/0000-0002-6584-1439>, azharmansoor76@gmail.com, ^d <https://orcid.org/0000-0001-8697-6263>, sergei-gaist@mail.ru,
^e <https://orcid.org/0000-0001-5120-3623>, 278507234@qq.com

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 14 March 2020

Revised: 02 April 2020

Accepted: 23 April 2020

Available online: 15 June 2020

Keywords:

Internal thread

Drilling

Threading modes

Threaded strength

Factor experiment

Carbon fiber parts

ABSTRACT

Introduction. Composite materials are widely used in mechanical engineering and instrument making. Composites have a low specific gravity with high strength and wear resistance and are used in civil and military equipment. At the same time, the existing technologies for producing composites do not provide sufficient indicators of the parts accuracy; therefore, machining is still the main way to achieve the required quality. Despite the wide technological capabilities of blade processing, high abrasive properties and heterogeneity of the carbon fiber structure imposes a number of limitations and complicates the choice of processing parameters, especially in the manufacture of internal threads. In addition to the processing modes, the diameter of the pre-drilled hole has a significant effect on the quality of the threaded connection. Despite the studies already carried out in the field of machining of carbon fiber reinforced plastics, a number of questions have not received sufficient study. **The purpose of the work** is to obtain a relationship between the parameters of the hole and thread processing, as well as the diameter of the hole and the quality of the threaded connection to ensure the specified strength characteristics of the threaded connection. A method is proposed and the results of an experimental study of the strength of a threaded joint, consisting of a carbon fiber part with an internal thread and a structural steel screw, are provided in the axial direction with uniform indentation of the screw with the determination of the maximum fracture resistance force. **Research methods:** a full factorial experiment is conducted for threaded joints with diameters M6, M7 and M8 to identify the dependence of the strength of the threaded connection on such operating parameters as cutting speed and feed rate during drilling and cutting speed when threading. To control the maximum force of fracture resistance, characterizing the strength of the threaded connection, a universal electromechanical testing machine model Instron-3369 is used. **Results and discussion.** A comparative analysis of the test results shows that for samples with thread diameter M6, the maximum fracture resistance force is from 5.7 to 6.4 kN. But with a minimum supply of drilling in combination with a minimum speed of threading, the maximum load force does not exceed 3.8 kN. Similar results are obtained when testing samples with thread diameters M8 and M10.

For citation: Markov A.M., Nekrasov V.N., Salman A.M., Gayst S.V., Su J. Study of the influence of technological parameters on the strength of a threaded connection in carbon fiber parts. *Obrabotka metallov (tehnologiya, oborudovanie, instrumenty) = Metal Working and Material Science*, 2020, vol. 22, no. 2, pp. 6–15. DOI: 10.17212/1994-6309-2020-22.2-6-15. (In Russian).

References

1. Stepanov A.A. *Obrabotka rezaniem vysokoprochnykh kompozitsionnykh polimernykh materialov* [Cutting of high-strength composite polymeric materials]. Leningrad, Mashinostroenie Publ., 1987. 176 p. [In Russian].
2. Veazey D., Gomez E.D., Hsu T. Next generation high-performance carbon fiber thermoplastic composites based on polyaryletherketones. *Journal of Applied Polymer Science*, 2017, vol. 134, iss. 6, p. 44441. DOI: 10.1002/app.44441.

* Corresponding author

Nekrasov Vyacheslav N., Ph.D. (Engineering), Associate Professor
 I.I. Polzunov Altai State Technical University,
 46 Lenina avenue,
 656038, Barnaul, Altai region, Russian Federation
 Tel.: 8 (3852) 29-08-94, e-mail: sla44@mail.ru

3. Heo Y., Malakooti M.H., Sodano H.A. Self-healing polymers and composites for extreme environments. *Journal of Materials Chemistry A*, 2016, vol. 4, iss. 44, pp. 17403–17411. DOI: 10.1039/C6TA06213J.
4. Makarov V.F., Meshkas A.E., Shirinkin V.V. Issledovanie problem mekhanicheskoi obrabotki sovremennykh vysokoprochnykh kompozitsionnykh materialov, ispol'zuemykh dlya proizvodstva detalei aviatsionnoi i raketno-kosmicheskoi tekhniki [Research problems machining high strength composite materials used for the production of details of aviation and space-rocket technicians]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Mashinostroenie, materialovedenie = Bulletin of Perm National Research Polytechnic University. Mechanical Engineering, Materials Science*, 2015, vol. 17, no. 2, pp. 30–41.
5. Rahme P., Landon Y., Lachaud F., Piquet R., Lagarrigue P. Drilling of thick composite materials using a step gundrill. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 2017, vol. 103, pp. 304–313. DOI: 10.1016/j.compositesa.2017.10.016.
6. Pihtili H., Canpolat N. Investigation of different reinforced composite materials for surface roughness and capacity of being drilled. *Journal of Composite Materials*, 2009, vol. 43, iss. 19, pp. 2071–2080. DOI: 10.1177/0021998309340934.
7. Zhernakov V.S., Pervushin Y.S., Solovyev P.V. Issledovanie uprugikh kharakteristik ugleplastika s 3D strukturoi [The study of the elastic characteristics of carbon fiber with a 3D structure]. *Pis'ma o materialakh = Letters on Materials*, 2019, vol. 9, iss. 2 (34), pp. 185–190. DOI: 10.22226/2410-3535-2019-2-185-190.
8. Santiuste C., Olmedo A., Soldani X., Miguélez H. Delamination prediction in orthogonal machining of carbon long fiber-reinforced polymer composites. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 2012, vol. 31, iss. 13, pp. 875–885. DOI: 10.1177/0731684412444654.
9. Chen W.C. Some experimental investigations in the drilling of carbon fiber reinforced composite laminations. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 1997, vol. 37, iss. 8, pp. 1097–1108. DOI: 10.1016/S0890-6955(96)00095-8.
10. Karasov T.A., Khramovskikh V.V., Zhikharev V.S. Problemy rezaniya kompozitov s vysokoprochnymi napolnitelyami [The problems of cutting composites with high-strength fillers]. *Mekhaniki XXI veku = 21st Century Mechanics*, 2017, no. 16, pp. 93–97.
11. Deng D., Yu J., Yan X., Huang F., Luo X. Engineering method for the thermal mechanical erosion of C/C composite with the mesoscale ablation model. *Polymers and Polymer Composites*, 2014, vol. 22, iss. 2, pp. 181–186. DOI: 10.1177/096739111402200215.
12. Markov A.M., Makarova N.A., Gaist S.V. Iznos instrumenta pri frezerovanii stekloplastika [Tool wear at glass-fiber material milling]. *Naukoemkie tekhnologii v mashinostroenii = Science Intensive Technologies in Mechanical Engineering*, 2017, no. 4 (70), pp. 25–30. DOI: 10.12737/article_58ef809026b201.73125147.
13. Rychkov D.A., Yanyushkin A.S. Sposob povysheniya effektivnosti proizvodstva izdelii iz polimernykh kompozitov [Method for improving the efficiency of products from polymer composites]. *Obrabotka metallov (tekhnologiya, oborudovanie, instrumenty) = Metal Working and Material Science*, 2016, no. 3, pp. 23–30. DOI: 10.17212/1994-6309-2016-3-23-30. (In Russian).
14. Gaist S.V., Katayeva S.A., Markov A.M., Cherdantsev P.O., Lapenkov E.Yu. Eksperimental'noe issledovanie protsessa formirovaniya pokazatelei kachestva pri frezerovanii stekloplastika [Experimental investigation of quality metrics formation process during plastic milling] *Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Bulletin of Bryansk State Technical University*, 2016, no. 3 (51), pp. 129–136. DOI: 10.12737/22052.
15. Rychkov D.A., Afanasenko P.V., Kirichenko O.P. Spetsifika iznashivaniya rezhushchego instrumenta pri obrabotke polimernykh kompozitsionnykh materialov [The characteristics of the cutting tool wear under machining of polymeric composite materials]. *Mekhaniki XXI veku = 21st Century Mechanics*, 2018, no. 17, pp. 135–139.
16. Li Z.J., Hong M.S., Su H., Wei Y.L. Machining accuracy analysis for step multi-element varying-parameter vibration drilling of laminated composite materials. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2003, vol. 21, iss. 10–11, pp. 760–768. DOI: 10.1007/s00170-002-1391-2.
17. Markov A.M., Lebedev P.V. Zavisimost' silovykh kharakteristik protsessa narezaniya vnutrennei rez'by v detalyakh iz vysokoprochnykh polimernykh kompozitsionnykh materialov [Force characteristic dependence of the inside threading process in the components from high strength polymer composites]. *Tekhnologiya mashinostroeniya – Engineering Technology*, 2014, no. 12, pp. 22–25.
18. Kudryashov E.A., Kameneva T.E. Povyslenie rabotosposobnosti okhvatyvayushchei frezy s rezhushchimi elementami iz kompozita pri narezanii trapetseidal'noi rez'by s elementami razryva [Increase of efficiency of the internally cutting mill with composite cutters when cutting trapezoidal thread with interrupted elements]. *Obrabotka*

metallov (tekhnologiya, oborudovanie, instrumenty) = Metal Working and Material Science, 2018, vol. 20, no. 1, pp. 33–43. DOI: 10.17212/1994-6309-2018-20.1-33-43. (In Russian).

19. Davim J.P., Reis P. Study of delamination in drilling carbon fiber reinforced plastics (CFRP) using design experiments. *Composite Structures*, 2003, vol. 59, iss. 4, pp. 481–487. DOI: 10.1016/S0263-8223(02)00257-X.

20. Hocheng H., Tsao C.C. Comprehensive analysis of delamination in drilling of composite materials with various drill bits. *Journal of materials processing technology*, 2003, vol. 140, iss. 1–3, pp. 335–339. DOI: 10.1016/S0924-0136(03)00749-0.

21. Sedlacek J., Slany M. Analysis of delamination in drilling of composite materials. *Modern Machinery (MM) Science Journal*, 2010, June, pp. 192–197. DOI: 10.17973/MMSJ.2010_06_201010.

Conflicts of Interest

The authors declare no conflict of interest.

© 2020 The Authors. Published by Novosibirsk State Technical University. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).