

УДК 678: 658.567

<https://doi.org/10.33619/2414-2948/46/29>

ОЦЕНКА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК УГЛЕПЛАСТИКА НА ОСНОВЕ ВТОРИЧНЫХ ВОЛОКОН

©Шайдурова Г. И., д-р техн. наук, Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, г. Пермь, Россия, sgi615@iskra.perm.ru

©Гатина Е. Р., Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, г. Пермь, Россия, ger615@iskra.perm.ru

©Шевяков Я. С., SPIN-код: 2861-7241, Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, г. Пермь, Россия, sys615@iskra.perm.ru

ASSESSMENT OF PHYSICAL AND MECHANICAL CHARACTERISTICS OF SECONDARY FIBER BASED CARBON FIBER REINFORCED PLASTIC

©Shaidurova G., Dr. habil., Perm National Research Polytechnic University,
Perm, Russia, sgi615@iskra.perm.ru

©Gatina E., Perm National Research Polytechnic University,
Perm, Russia, ger615@iskra.perm.ru

©Shevyakov Ya., SPIN-code: 2861-7241, Perm National Research Polytechnic University,
Perm, Russia, sys615@iskra.perm.ru

Аннотация. Приведены исследования утилизации углепластиков термическим методом, которые в своей основе направлены на деполимеризацию полимерной матрицы с сохранением углеродных волокон. Отражены результаты экспериментальных исследований вторичной переработки углепластиков термическим методом с обеспечением извлечения армирующего наполнителя из объема матрицы, который на последующем этапе использовался повторно при производстве образцов углепластика для оценки физико-механических характеристик. Произведена оценка сохранения свойств вторичного углеродного наполнителя в сравнении с исходным волокном.

Abstract. The article deals with the studies of carbon fiber reinforced plastics disposal by thermal method basically aimed at polymer matrix depolymerization with preservation of carbon fibers. The results of experimental studies of carbon fiber reinforced plastics recycling by thermal method ensuring extraction of the reinforcing filler to be reused at a later stage in production of carbon fiber reinforced plastic samples from the matrix volume for assessment of physical and mechanical characteristics are reflected in the paper. Assessment of the secondary carbon filler properties retention as compared with the original fiber has been carried out.

Ключевые слова: пиролиз, утилизация углепластиков, извлечение волокна, методы утилизации полимерных композиционных материалов, деструкция, композиционные материалы, экологические проблемы.

Keywords: pyrolysis, carbon fiber reinforced plastics disposal, fiber extraction, methods of polymer composite materials disposal, destruction, composite materials, environmental problems.

Актуальность и проблема

В настоящее время углепластики все больше расширяют области своего применения. Повышенные физико-механические характеристики, а также относительно низкая плотность и теплостойкость определили их преимущественное использование в авиации и ракетостроительной технике.

Композиционные материалы на основе углеродных волокон составляют порядка 62% от общего объема композитов, используемых в авиастроении. Ежегодно авиастроительные компании перерабатывают около 530 т (7% от мирового производства) углеродных волокон в виде препрегов и углеродных тканей (<https://clck.ru/J5Mz2>).

В связи с таким впечатляющим оборотом углеволокна неизбежно возникает проблема утилизации не только технологических отходов, но и изделий из углепластиков, завершающих свой жизненный цикл.

Утилизация полимерных композиционных материалов в настоящее время сводится к нескольким методам, описанным в [1]. До сих пор в России нет конкретного подхода и практического применения технологии утилизации углепластиков. Чаще всего отходы углепластика отправляются на захоронение (полигон) или сжигание. В России современные технологии переработки отходов практически не применяются. Это связано с тем, что они имеют достаточно высокую стоимость.

Анализ зарубежных исследований в области утилизации отходов композиционных материалов в настоящее время базируется на понятии «вторичная переработка». При использовании вторичной переработки можно извлечь из отходов углепластика ценный продукт — углеродные волокна. Углеродный наполнитель является дорогостоящим сырьем, а его повторное использование может стать основой для коммерческой реализации продуктов утилизации.

Положение дел по утилизации отходов в России неудовлетворительное, так как размещение отходов на полигонах не только затратно, но и просто запрещено, и вторичная переработка становится не просто экологически выгодной, но и экономически эффективной. Переработка отходов важна не только как способ утилизации, но и для сохранения экологического равновесия. С экологической точки зрения преимущества переработки композитных отходов очевидны. Вторичная переработка может привести к снижению количества полигонов захоронения отходов, а применение вторичного сырья позволит сократить объем производства и потребления первичных углеродных наполнителей [2].

Таким образом, переработка отходов становится актуальным направлением в решении вопроса утилизации композитов. Рациональное применение извлеченного волокна из отходов углепластика — одно из главных направлений сохранности экологической обстановки. Экономическая составляющая процесса утилизации методом вторичной переработки достигается за счет того, что углеродному наполнителю, извлеченному из объема композита, может быть определено новое предназначение. То есть результат на выходе — получение качественных материалов, пригодных для дальнейшего использования, и которые значительно дешевле первичных [3].

Суть вторичной переработки углепластика базируется на процессе удаления из его объема полимерной матрицы (связующего) и получении на выходе максимально неповрежденного волокнистого наполнителя. Такой результат можно получить с применением двух методов деструкции — термического или химического. В статье представлены результаты исследований вторичной переработки с помощью термической деструкции.

Механизм термической деструкции полимеров подразумевает так называемый «частичный пиролиз», где смоляная матрица сжигается с ограниченным кислородом. Температурное воздействие на углепластик в диапазоне 600-700°C разрушает смоляную часть углепластика и на выходе получается восстановленный углеродный наполнитель. Очевидно при этом, что волокна в процессе пиролиза повреждаются, что неизбежно приводит к снижению их механических свойств, что в дальнейшем следует учитывать для реального применения.

Поскольку получаемый на выходе вторичный углеродный наполнитель представляет собой волокна различной длины, использование вторичного наполнителя может рассматриваться в задачах армирования малонагруженных композитов, строительных материалов, в качестве сырья, например, для не тканых иглопробивных материалов (матов) [4]. Известно использование волокон в качестве арматурного элемента в цементные, бетонные, асфальтобетонные смеси.

В рамках данного исследования была предпринята попытка использования восстановленного вторичного углеродного волокна для повторного изготовления углепластика с целью оценки уровня физико-механических характеристик, а также целесообразности данного подхода.

Для реализации описанного метода были проведены эксперименты по извлечению углеродных волокон из углепластика методом термической деструкции.

Материалы и методика

В качестве исходного материала для экспериментов использовались углепластиковые плиты размером 20×20×0,5 см, полученные на основе углеродной ткани марки «Porsher». Для упрощения процесса извлечения волокон плиты подвергались резке на сегменты размером 20×5×0,5 см.

Сегменты ставили в печь и вели процесс деструкции в среде среднетемпературного пиролиза (порядка 500-600°C) в течение 4 часов. Процесс осуществлялся при частичном присутствии кислорода, что в совокупности с повышенной температурой обеспечило сжигание полимерной матрицы и в результате процесса на выходе восстановленный углеродный наполнитель.



Рисунок 1. Восстановленный углеродный наполнитель.

В дальнейшем производстве были изготовлены хаотично армированные плиты углепластика из исходного волокна марки «Porsher» и вторичного (восстановленного) волокна на основе эпоксидного ЭДТ-10П и фенолформальдегидного СФ-010 связующего.

Производство плит производилось методом ручного прессования при температурах выше 160°C, из которых были изготовлены образцы для определения предела прочности при растяжении, изгибе и сжатии по ОСТ 92-1459-77 (Рисунки 2-4). Технология включала в себя последовательное выполнение этапов: пропитка волокна связующим, сушка на воздухе, выкладка вручную в специальную форму с подачей давления и термостатирование по штатному режиму связующего.

Из плит изготовленного углепластика из вторичных и исходных волокон были изготовлены образцы для определения прочности при растяжении, сжатии, изгибе.



Рисунок 2. Образцы-лопатки для определения прочности при растяжении (после испытаний).

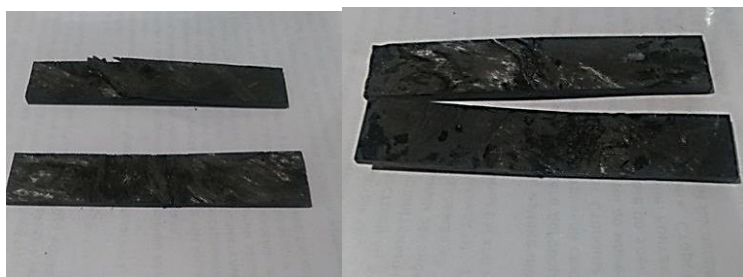


Рисунок 3. Образцы для определения прочности при изгибе (после испытаний).

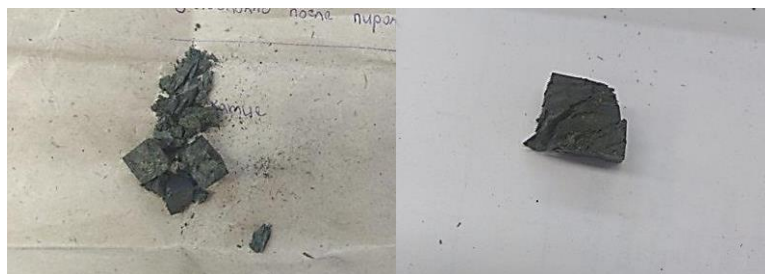


Рисунок 4. Образцы для определения прочности при сжатии (после испытаний).

Испытания на прочность проводили при комнатной температуре на испытательной машине УТС 110М-100 при скорости подвижного захвата 5 мм/мин. Результаты испытаний физико-механических характеристик представлены в Таблице 1, 2 в сравнении с характеристиками первичных углепластиков.

Таблица 1.
 РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК УГЛЕПЛАСТИКА
 (эпоксидное связующее ЭДТ-10П + волокно)

Контролируемая характеристика	Углепластик (эпоксидное связующее ЭДТ-10П + волокно)	
	Исходное волокно (контрольный)	Вторичное волокно
Предел прочности при растяжении, σ_p , кгс/см ²	3610	2110
Предел прочности при сжатии, $\sigma_{сж}$, кгс/см ²	1633	1029
Предел прочности при изгибе, $\sigma_{изг}$, кгс/см ²	2061	1757

Таблица 2/
 РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК УГЛЕПЛАСТИКА
 (фенолформальдегидное связующее СФ-010+ волокно)

Контролируемая характеристика	Углепластик (фенолформальдегидное связующее СФ-010+ волокно)	
	Исходное волокно (контрольный)	Вторичное волокно
Предел прочности при растяжении, σ_p , кгс/см ²	3109	1724
Предел прочности при сжатии, $\sigma_{сж}$, кгс/см ²	2097	1236
Предел прочности при изгибе, $\sigma_{изг}$, кгс/см ²	1978	1336

Выводы

На основании проведенных испытаний можно сделать вывод, что после процесса пиролиза (частичного) происходит значительное снижение таких характеристик как предел прочности при растяжении и сжатии независимо от вида используемого связующего. Данное обстоятельство свидетельствует косвенно о значительных деформациях вторичного волокна под воздействием повышенных температур и изначального присутствия кислорода в объеме печи.

Было установлено, что ФМХ вторичного наполнителя, восстановленного методом частичного пиролиза, снижаются от 15% до 45%, что в принципе значительно при изготовлении ответственных изделий. Это объясняется тем, что в процессе частичного пиролиза образуется кокс, который загрязняет волокно, за счет чего и прослеживается снижение характеристик.

Уровень снижения прочностных характеристик определяет области использования вторичного наполнителя для задач армирования малонагруженных композитов, строительных материалов и в качестве сырья для нетканых материалов. В рамках данного исследования проводились эксперименты по армированию резин отходами углеродного и арамидного волокна с целью повышения физико-механических характеристик [5]. Исследования по высвобождению углеродных волокон методом химической переработки (сольволиза) является параллельным этапом отработки технологии утилизации и требует детального сравнительного анализа [6].

Результаты, представленные в статье, были получены в ходе выполнения государственного задания Министерства образования и науки РФ в рамках мероприятия «Инициативные научные проекты», код заявки 5.9729.2017/8.9.

Список литературы:

1. Петров А. В., Дориомедов М. С., Скрипачев С. Ю. Технологии утилизации полимерных композиционных материалов (обзор) // Труды ВИАМ. 2015. №8. С. 60-71. DOI: 10.18577/2307-6046-2015-0-8-9-9
2. Аксенова Л. Л., Хлебенских Л. В., Хлебенских С. Н. Переработка и утилизация строительных отходов для получения эффективных зеленых композитов // Современные тенденции технических наук: материалы III Междунар. науч. конф. (г. Казань, октябрь 2014 г.). Казань: Бук, 2014. С. 63-65. URL <https://moluch.ru/conf/tech/archive/123/6266/> (дата обращения: 12.09.2019).
3. Хрульков А. В., Гусев Ю. А., Мишкин С. И., Дориомедов М. С. Эффективность утилизации композиционных материалов // Новости материаловедения. Наука и техника. 2016. № 6(24). С. 69-74.
4. Дориомедов М. С., Дасковский М. И., Скрипачев С. Ю., Шеин Е. А. Полимерные композиционные материалы в железнодорожном транспорте России (обзор) // Труды ВИАМ. 2016. №7. С. 1-6. DOI: 10.18577/2307-6046-2016-0-7-12-12
5. Шайдурова Г. И., Васильев И. Л., Шевяков Я. С., Гатина Е. Р., Куликова Ю. В. Исследование влияния армирующих наполнителей вторичного применения на физико-механические характеристики теплозащитных резин на основе СКЭПТ // Бюллетень науки и практики. 2018. Т. 4. №10. С. 254-260.
6. Шайдурова Г. И., Васильев И. Л., Шевяков Я. С., Гатина Е. Р. Оценка возможности утилизации полимерных композиционных материалов химическим методом // Экология и промышленность России. 2018. Т. 22. №12. С. 48–51. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2018-12-48-51>

References:

1. Petrov, A. V., Doriomedov, M. S., & Skripachev, S. Yu. (2015). Tehnologii utilizacii polimernyh kompozicionnyh materialov (obzor) [Recycling technologies of polymer composite materials (review)]. *Trudy VIAM: elektron. nauch.-tehnich. Zhurn*, (8). 60-71. doi:10.18577/2307-6046-2015-0-8-9-9 (in Russian).
2. Aksenova, L. L., Khlebenskikh, L. V., & Khlebenskikh, S. N. (2014). Pererabotka i utilizatsiya stroitel'nykh otkhodov dlya polucheniya effektivnykh zelenykh kompozitov. *In Sovremennye tendentsii tekhnicheskikh nauk: materialy III Mezhdunar. nauch. konf. (g. Kazan', oktyabr' 2014 g.)*. Kazan': Buk, 63-65. URL <https://moluch.ru/conf/tech/archive/123/6266/> (16.05.2019). (in Russian).
3. Hrulkov, A. V., Gusev, Yu. A., Mishkin, S. I., & Doriomedov, M. S. (2016). Efficiency of utilization of composite materials. *Materials Science & Technology News*, 6(24). 69-74. (in Russian).
4. Doriomedov, M. S., Daskovskiy, M. I., Skripachyov, S. Yu., & Shein, E. A. (2016). Polymer composite materials in the Russian railways. *Trudy VIAM: elektron. nauch.-tehnich. Zhurn*, (7). 1-6. doi:10.18577/2307-6046-2016-0-7-12-12 (in Russian).
5. Shaidurova, G., Vasilyev, I., Shevyakov, Ya., Gatina, E., & Kulikova, Yu. (2018). Study of recycled reinforcing fillers influence on physical and mechanical characteristics of ethylene propylene terpolymer based heat-protective rubber. *Bulletin of Science and Practice*, 4(10), 254-260. (in Russian).

6. Shaidurova G. I., Vasilev I. L., Shevyakov Ya. S., Gatina E. R. 2018. Assessment of the Possibility of Polymer Composite Materials Recycling by Chemical Method. Ecology and Industry of Russia, 22(12). 48-51. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2018-12-48-51> (in Russian).

*Работа поступила
в редакцию 26.07.2019 г.*

*Принята к публикации
29.07.2019 г.*

Ссылка для цитирования:

Шайдурова Г. И., Гатина Е. Р., Шевяков Я. С. Оценка физико-механических характеристик углепластика на основе вторичных волокон // Бюллетень науки и практики. 2019. Т. 5. №9. С. 239-245. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/46/29>

Cite as (APA):

Shaidurova, G., Gatina, E., & Shevyakov, Ya. (2019). Assessment of Physical and Mechanical Characteristics of Secondary Fiber Based Carbon Fiber Reinforced Plastic. *Bulletin of Science and Practice*, 5(9), 239-245. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/46/29> (in Russian).