

УДК 504: 539.422.53

**АНАЛИЗ ПРОБЛЕМЫ УТИЛИЗАЦИИ ОТХОДОВ
КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

ANALYSIS OF WASTE COMPOSITE MATERIALS UTILIZATION PROBLEMS

©Куликова Ю. В.

канд. техн. наук

Пермский национальный

исследовательский политехнический университет

г. Пермь, Россия, kulikova.pnpu@gmail.com

©Kulikova Yu.

Ph.D., Perm National Research Polytechnic University

Perm, Russia, kulikova.pnpu@gmail.com

©Слюсарь Н. Н.

канд. техн. наук

Пермский национальный исследовательский

политехнический университет

г. Пермь, Россия, nnslyusar@gmail.com

©Slyusar N.

Ph.D., Perm National Research Polytechnic University

Perm, Russia, nnslyusar@gmail.com

©Шайдурова Г. И.

д-р. техн. наук

Пермский национальный

исследовательский политехнический университет

г. Пермь, Россия, sgi615@iskra.perm.ru

©Shaidurova G.

Dr. habil.

Perm National Research Polytechnic University

Perm, Russia, sgi615@iskra.perm.ru

Аннотация. На сегодняшний день мы наблюдаем резкий рост уровня потребления композиционных материалов, так мировой рынок композитов, сопровождающий существенным накоплением в техносфере отходов композиционных материалов, запасы которых ежегодно увеличиваются на 9 млн.тонн/год. При этом в странах ЕС утилизации подвергается не более 10% композиционных материалов, остальная часть размещается в окружающей среде или направляется на сжигание. В России 100% отходов композиционных материалов направляется на захоронение. С учетом значительного срока разложения в окружающей среде (порядка 200 лет), проблема поиска технологий утилизации отходов композиционных материалов является актуальной задачей.

Abstract. Nowadays, we could see worldwide sharp increase in the composite materials consumption, this leads to the significant accumulation of composite materials in the technosphere. Stock of composite materials annually increasing by 4 million tons. At the same time in the EU

countries, no more than 10% of composite materials are recycled and the rest is placed in the environment or sent for burning. In Russia, 100% of composite materials waste is sent to a disposal site. Taking into account significant period of destruction in the environment (about 2,000 years), the problem of finding technologies for composite materials waste utilization is an urgent task.

Ключевые слова: полимерные композиционные материалы, углепластики, углеродное волокно, утилизация.

Keywords: polymer composite materials, carbon fiber polymer s, carbon fiber, recycling.

На сегодняшний день мы наблюдаем резкий рост уровня потребления композиционных материалов - ожидается, что мировой рынок композитов к 2020 году достигнет 95 млрд долларов, увеличившись на 40% с 2014 года (<https://goo.gl/rXn1J4>).

Такие преимущества композитов, как легкий вес, прочность, долговечность, возможность создания материалов с заданными свойствами и заданной формой, коррозионная устойчивость др., становятся все более востребованы у производителей. Причем рост потребления наблюдается не только в ключевых для композитов секторах экономики, но и в новых отраслях промышленности.

К композиционным материалам принято относить объемное монолитное искусственное сочетание разнородных по форме и свойствам двух и более материалов (компонентов), с четкой границей раздела, использующее преимущества каждого из компонентов и проявляющее новые свойства, обусловленные граничными процессами.

Свойства композиционных материалов определяются материалами матрицы и армирующих элементов, а также схемой армирования (формой, геометрией, размером, количеством и характером распределения наполнителя в матрице). Таким образом, путем подбора указанных выше характеристик композиционных материалов можно обеспечить получение практически любых изделий с заранее заданным сочетанием эксплуатационных и технологических свойств.

На Рисунке 1 представлены наиболее распространенные виды композиционных материалов, сгруппированные по материалу матрицы и типу упрочняющих элементов.

Рынок композиционных материалов

В 2014 году в мире произведено 8,8 млн. тонн композиционных материалов (по данным JEC Composites). С точки зрения объемов потребления в 2013 году первым по величине рынком композитов был Китай, вторым – США (<https://goo.gl/rXn1J4>).

Согласно литературным данным среди лидирующих отраслей в использовании композитов в 2014 году в мировом масштабе были автомобилестроение, авиастроение, строительство, производство труб и резервуаров. К 2020 году ожидается значительный рост потребления композитов в автомобилестроении, авиастроении и космической промышленности, строительной отрасли, а также ветровой энергетики [1-2].

Оборонная и аэрокосмическая промышленность впервые применила композиционные материалы: сегодня большинство самолетов обороны имеют вес более 50% от композитов. Недавно композиты стали основным материалом для нового поколения коммерческих самолетов, таких как Boeing 787 «Dreamliner» (50%) и Airbus A380 (25%) и будущего A350 (53%). Для повышения топливной эффективности важно снижение веса автомобиля. Как крупнейший прикладной сектор, использование композиционных материалов в

автомобильной промышленности очень быстро растет (строительство корпуса, интерьеров, шасси, вытяжек и электрических компонентов). Кроме того, композиционные материалы также используются в спортивных и рекреационных объектах, судостроении и судостроении, в производстве ветряной энергии для лопаток ветровых турбин, а также в разведке нефти и газа на шельфе. В странах ЕС лидером по производству композиционных материалов является Германия, за которой следуют Италия и Франция. Эти 3 страны составляют более 60% от общего объема производимых в Европе композиционных материалов [3].

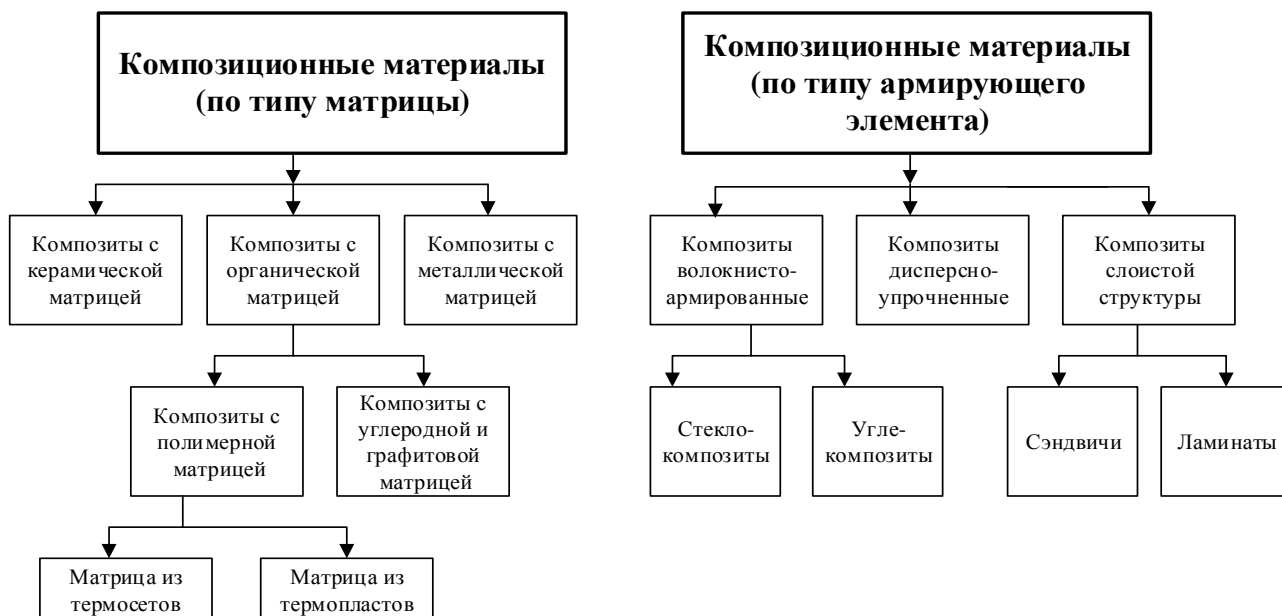


Рисунок 1. Наиболее распространенные виды композиционных материалов



Рисунок 2. Потребление композитов различными отраслями промышленности на примере США [4]

С точки зрения потребления композитов на душу населения в 2013 году первое место было у США (с потреблением 73 кг/чел*год), второе место у Германии (с потреблением 3,6 кг/чел*год). При этом потребление композитов на душу населения в Китае составляло 1,8 кг/чел*год (самое высокое среди стран БРИК - Бразилия, Россия, Индия и Китай) [2].

Из всех типов композиционных материалов наибольшее распространение получили композиты на полимерной матрице, армированные волокнами (порядка 90%). При этом, 90% из них – это полимерные композиционные материалы, армированные стекловолокном (стеклопластики). Остальные 10% - в основном полимерные композиционные материалы, армированные углеволокном (углепластики). Доля иных армирующих элементов весьма невелика (<https://goo.gl/rXn1J4>).

Проблема утилизации отходов композиционных материалов

Растущее производство и потребление композиционных материалов приводят к увеличению количества отходов, к которым относятся продукты с истекшим сроком службы (end of life - EOL) и отходы производства композиционных материалов.

Поскольку продукция на основе стеклопластиков и углепластиков, как отмечалось ранее, занимает доминирующее положение на рынке, отходы данных материалов и вызывают в настоящее время наибольшую обеспокоенность. Еще несколько лет назад проблема утилизации этих отходов не стояла столь остро, поскольку объемы их образования были не значительны ввиду длительного срока эксплуатации изделий из композитов (20-25 лет), более низких объемов производства композитов пару десятилетий назад, менее строгих законодательных требований в области обращения с отходами.

В последнее десятилетие, количество образующихся отходов производства и потребления стекло и углепластиков значительно возросло. В отходы начали поступать вышедшие из эксплуатации изделия авиационного, автомобилестроения, ветроэнергетики, судостроения и т.д. Также увеличилось количество отходов производства композиционных изделий, которое связано со значительным ростом объемов производства.

По оценкам, общий совокупный объем отходов производства и потребления стеклопластиков в ЕС в 2015 году достиг 304 тыс.тонн, при объемах производства 1069 тыс.тонн. С учетом того, что доля ЕС в мировом производстве стеклопластиков составляет 31%, то мировые объемы образования отходов стеклопластика можно оценить на уровне 980 тыс.тонн. В целом объемы накопления композиционных материалов составляют порядка 4 млн.тонн/год [2, 4-5].

Ранее захоронение и сжигание были наиболее распространенными методами обезвреживания отходов стекло и углепластиков. Однако, учитывая фактическое и надвигающееся рамочное законодательство ЕС по обращению с отходами, а также рост цен на налоги на свалки, эти методы будут в ближайшем будущем недоступны.

Пакет законов Европейской Комиссии, касающийся экономики замкнутого цикла (European Commission's Circular Economy Package), предусматривает увеличение объемов рециклинга и снижение количества муниципальных отходов, направляемых на полигоны, до 10% к 2030 году. В настоящее время пока не ясно, как это законодательство повлияет на промышленные и строительные отходы (кроме отходов пластика, для которых целевой объем рециклинга установлен на уровне 75% к 2030 году).

Рамочная Директива ЕС об отходах (European Waste Framework Directive, 2008/98/EC) устанавливает основные концепции и определения в области управления отходами и развивает принцип «платит загрязняющий», который известен как принцип расширенной

ответственности производителя. Данная директива требует, чтобы страны-члены ЕС при управлении отходами руководствовались следующей иерархией:

- предотвращение образования отходов;
- повторное использование отходов;
- переработка отходов в качестве вторичных материальных ресурсов;
- сжигание отходов с получением энергии;
- размещение опасных отходов на полигонах.

Европейская ассоциация индустрии композиционных материалов (EuCIA) считает возможной утилизацию (рециклинг) композиционных материалов в соответствии с Европейской рамочной Директивой об отходах путем их использования при производстве цемента, однако имеющиеся в Европе производственные мощности могут лишь частично удовлетворить спрос на утилизацию композиционных материалов.

Директива о транспортных средствах с выработанным сроком эксплуатации (End-Of-Life Vehicle Directive) предписывает, что 85% транспортных средств по весу должны использоваться повторно или подвергаться рециклингу и 95% транспортных средств должны использоваться повторно, подвергаться рециклингу или сжигаться для получения энергии. Углепластики имеют самый высокий потенциал снижения веса транспортных средств, однако их текущая стоимость и отсутствие жизнеспособной технологии рециклинга создают барьеры на пути более широкого их использования композитов.

Аналогично Директива об отходах электрического и электронного оборудования (Waste Electrical and Electronic Equipment Directive, 2012/19/EU) устанавливает цели по сбору и рециклингу электрических товаров, а также по их сжиганию для получения энергии.

Обращение со строительными отходами регулируется статьей 11.2 Рамочной Директивы об отходах, которая предписывает, что к 2020 году минимум 70% (по весу) неопасных строительных отходов и строительного лома должны готовиться для вторичного использования, рециклинга или подвергаться другим способам восстановления (в том числе использование отходов вместо других материалов для отсыпки).

На основании вышесказанного, учитывая потенциальные ограничения в захоронении отходов на полигонах со стороны природоохранного законодательства, проблема рециклинга композиционных материалов в странах ЕС становится весьма актуальной.

Технологии утилизации композиционных материалов не находят своего широкого распространения в мире, имеются лишь отдельные проекты по разработке и внедрению указанных технологий. Проблема утилизации композитов связана с целым рядом объективных причин:

Механическая и химическая стойкость применяемых материалов и их композиций, что приводит к существенной энергоемкости технологий утилизации;

- технологическая сложность разделения компонентов, входящих в состав композитов
- высокая диверсификация получаемых материалов и композиций
- применение в качестве связующего термосетов
- низкая заинтересованность стейкхолдеров во внедрении технологий утилизации
- отсутствие требований по утилизации композитов (в ряде стран, например, России)

В связи с указанными трудностями рециклинг композитных материалов на сегодняшний день ограничен извлечением энергии или топлива с незначительным извлечением материалов, таких как арматурные волокна.

В Европейских странах под давлением меняющегося законодательства были проведены обширные научно-исследовательские мероприятия по поиску различных технологий утилизации композитов, которые еще предстоит коммерциализировать. Разработки в данных странах ведутся в основном в трех категориях: механическая рециркуляция, термическая переработка и химическая переработка.

Механическая рециркуляция включает измельчение и просеивание для разделения фракций. Этот метод очень энергоемкий, получаемые продукты имеют относительно низкое качество. Термическая обработка предполагает использование газификации, пиролиза или сжигания с (температуры от 300 до 1000 °С), с получением вторичных армирующих волокон, топлива или тепловой энергии. Однако качество извлеченных волокон существенно ухудшается во время термической обработки. Химическая утилизация направлена на химическую деполимеризацию или удаление матрицы и высвобождение волокон с для дальнейшим рециклингом органического или неорганического растворителя.

Отсутствие рынков, высокая стоимость переработки и более низкое качество получаемых вторичных материалов по сравнению с оригинальными являются основными барьерами для коммерциализации и будут препятствовать дальнейшему использованию переработанных композиционных материалов в автомобильной, аэрокосмической и другой технике и потребительских товарах. Но учитывая долгосрочность процессов деструкции композиционных материалов (по различным даны до 200 лет) [6] и постоянное ужесточение экологического законодательства, в долгосрочной перспективе разработка технологий утилизации является актуальной [3].

При этом, разработка инновационных технологии в области обеспечения завершения жизненного цикла изделий из композиционных материалов по трем основным направлениям:

- разработка состава композиционных материалов, обеспечивающего простоту и экономичность процессов переработки (например замена термосетов на термопласты);
- разработка эффективных технологий переработки ранее произведенных материалов
- разработка технологий использования вторичных армирующих волокон.

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. Каблов Е. Композиты сегодня и завтра // Металлы Евразии. М.: Наука и технологии, 2015. С. 36-39.
2. Management, Recycling and Reuse of Waste Composites / ed. V. Goodship. Woodhead publishing, 2010. 612 p.
3. Yang Y. et al. Recycling of composite materials // Chemical Engineering and Processing. 2012. V. 51. P. 53-68.
4. Mazumdar S., Karthikeyan D., Pichler D., Benevento M., Frassine R. State of the Composites Industry Report for 2017. 2017. Режим доступа: <https://goo.gl/LT2PUA>.
5. Witten E., Kraus Th., Kühnel M. Composites Market Report. 2016. Market developments, trends, outlook and challenges. 2016. 44 p.
6. Iwanczuk A. et al. Anaerobic Biodegradation of Polymer Composites Filled with Natural Fibers // Journal of Polymers and the Environment. 2015. V. 23. №2. P. 277-282.

References:

1. Kablov, E. (2015). Composites today and tomorrow. *Metally Evrazii*. Moscow, Nauka i Tekhnologii, 36-39. (in Russian)
2. Goodship, V. (ed.). (2010). *Management, Recycling and Reuse of Waste Composites*. Woodhead publishing, 612
3. Yang, Y., & al. (2012). Recycling of composite materials. *Chemical Engineering and Processing*, 51, 53-68
4. Mazumdar, S., Karthikeyan, D., Pichler, D., Benevento, M., & Frassine, R. (2017). State of the Composites Industry Report for 2017. Available at: <https://goo.gl/LT2PUA>
5. Witten, E., Kraus, Th., & Kühnel, M. (2016). *Composites Market Report. 2016. Market developments, trends, outlook and challenges*. 44
6. Iwańczuk, A., & al. (June 2015). Anaerobic Biodegradation of Polymer Composites Filled with Natural Fibers. *Journal of Polymers and the Environment*, 23, (2), 277-282

*Работа поступила
в редакцию 24.10.2017 г.*

*Принята к публикации
29.10.2017 г.*

Ссылка для цитирования:

Куликова Ю. В., Слюсарь Н. Н., Шайдурова Г. И. Анализ проблемы утилизации отходов композиционных материалов // Бюллетень науки и практики. Электрон. журн. 2017. №11 (24). С. 255-261. Режим доступа: <http://www.bulletennauki.com/kulikova> (дата обращения 15.11.2017).

Cite as (APA):

Kulikova, Yu., Slyusar, N., & Shaidurova, G. (2017). Analysis of waste composite materials utilization problems. *Bulletin of Science and Practice*, (11), 255-261