

УДК 504.05

Фомин Никита Сергеевич, аспирант, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Московский государственный технологический университет "СТАНКИН", г. Москва

Ерёменко Ольга Викторовна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Инженерной экологии и безопасности жизнедеятельности», Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Московский государственный технологический университет "СТАНКИН", г. Москва

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОЛИМЕРНО - КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Аннотация. Статья посвящена анализу современного состояния и перспектив развития производства полимерных композитов, включая их классификацию, свойства и последствия области применения — от авиации до энергетики и строительства. Особое внимание уделено таким популярным материалам, как стекловолокно, за счет уникального сочетания легкости, прочности и стойкости. Приведены данные о росте российского рынка композитных материалов. Описаны основные экологические аспекты использования полимерно-композитных материалов (ПКМ): их положительное влияние на окружающую среду, а также отрицательные последствия. Также рассмотрены возможные методы утилизации ПКМ, включая различные методы переработки и утилизации, также выявлены основные проблемы вторичной обработки и даны рекомендации по возможным направлениям решения экологических задач.

Annotation. The article analyzes the current state and prospects for the development of polymer composite production, including their classification, properties, and applications in various fields, such as aviation, energy, and

construction. Special attention is given to popular materials like fiberglass, which offer a unique combination of lightweight, durable, and resistant properties. The article also provides data on the growth of the Russian composite materials market. It discusses the main environmental aspects of using polymer composite materials (PCMs), including their positive impact on the environment and potential negative consequences. The possible methods of PCM disposal, including various recycling and disposal methods, are also considered, and the main problems of secondary processing are identified, as well as recommendations for possible solutions to environmental issues.

Ключевые слова: полимеры, композиты, экология, переработка, утилизация.

Keywords: polymers, composites, ecology, recycling, disposal.

Способом производства полимерных композитов является производство композитного армированного пластика. Полимерные композиции – это комплексные материалы, состоящие из некоторого количества компонентов, для которых протяженной фазой является составной материал армированный пластик. Полимерный материал играет роль матрицы, а добавки придает плетеному связующему дополнительные требования: прочность или хорошая эксплуатационная стойкость при низких или высоких температурах, ударопрочность, химическую стойкость. Полимерные композиции широко распространены в многих областях: от самолетостроительной промышленности до производства украшений.

Классифицировать композиты с полимерной матрицей принято по двум показателям. Во-первых, их делят на реактопласты и термопласты:

Такие мономеры, как реактопласты – это низкомолекулярные олигомеры: полиэфирные, эпоксидные, полиэфирные, фенолоальдегидные и другие смолы, у которых при комнатной температуре жидкостное состояние. В них преобладает устойчивость к температурным перепадам, прочность,

низкая вязкость, хорошая пропитка этими материалами. При этом они хрупкие, пористые, токсичны растворители, их формовка требует термической обработки; при изготовлении происходит необратимая химическая реакция, превращающая заготовку в твердый неплавкий материал, не годный к повторному использованию;

Термопласты — это высокомолекулярные соединения: фторопласты, полиолефины, ароматические и алифатические полиамиды. Они находятся в твердом состоянии при комнатной температуре и применяются после расплавления, которое также можно повторять. Они химически инертны, термостойки, но быстро стареют под воздействием окружающей среды. В отличие от других пластов, термообрабатываемые пласти можно применять вторично. Для формирования такого композита в матрицу наносится тепло и добавляется огромное количество под давлением.

Другим способом классификации композитных полимеров является классификация по их наполнителям. В результате наполнения композитов теми или иными веществами, они делятся на армированные или дисперсно-упрочненные, однако, существуют и гибридные композиты, основная особенность которых это наличие в себе нескольких видов наполнителей. Именно благодаря таким комбинациям получается создать ПКМ с уникальными характеристиками.

В рамках исследования, аналитической компанией NeoAnalytics на тему «Российский рынок композитных материалов: итоги 2023 г., прогноз до 2027 г.» было установлено, что по итогам на 2023 г. объем российского рынка композитных материалов превышает 110 млрд. руб., а годовые темпы роста в данной сфере оцениваются около 10-15%. Стоит отметить, что за период, начинающийся примерно с 2017 г. объем рынка вырос более чем в два раза и данный рост продолжается и в настоящее время.

Стоит отметить, что данная отрасль является импортозависимой, так как оборудование, сырье и материалы для изготовления готовой продукции активно импортируется разными странами.

В нашей стране основную популярность полимерно-композитные материалы приобрели в авиационной, энергетической и строительной областях. Самым излюбленным полимером на территории нашей страны в свою очередь стало стекловолокно. Свою значимость в данных аспектах композиты получили за счет своих уникальных характеристик, которые в совокупности значительно превосходят характеристики других материалов, например, масса, прочность, устойчивость к воздействию химических соединений.

Масса: она значительно меньше, чем у металлических изделий аналогичной прочности, в том числе у алюминиевых. Например, плотность алюминия — 2700 кг/м³, плотность композита — в районе 1400 кг/м³;

Устойчивость к химическому воздействию: некоторые полимеры, в частности стекловолокно, могут противостоять особо агрессивным химическим соединениям, например, при воздействии на них тепла примерно в 80°C, стекловолокно может оказать сопротивление воздействию серной кислоты

Прочность данных материалов может варьироваться от 70 до 1800 МПа, что будет являться крайне хорошим показателем для столь легкого материала. Для сравнения можно рассмотреть сплавы алюминия, чья максимальная прочность может быть доведена максимум до 440 МПа.

По мере того, как эти материалы становятся всё более распространенными, закономерно возникает вопрос: какое влияние оказывает их использование на окружающую среду? Давайте рассмотрим положительные и отрицательные аспекты влияния ПКМ на экологию.

Положительные аспекты влияния ПКМ на экологию:

Легкость и прочность:

- **Транспорт:** Снижение веса конструкций в транспорте (автомобили, самолеты, поезда) приводит к уменьшению расхода топлива, а, следовательно, и выбросов парниковых газов.
- **Ветроэнергетика:** Лопасти ветряных турбин изготавливаются из ПКМ, что позволяет строить более мощные и эффективные ветроэлектростанции.

Коррозионная стойкость:

- **Долговечность:** ПКМ более устойчивы к коррозии, чем металлы, что увеличивает срок службы конструкций и снижает потребность в замене и ремонте.
- **Инфраструктура:** Использование ПКМ в инфраструктурных проектах (мосты, трубопроводы) снижает затраты на обслуживание и ремонт, а также предотвращает утечки и загрязнение окружающей среды.

Энергоэффективность производства:

- **Некоторые ПКМ:** Производство некоторых ПКМ может быть менее энергозатратным, чем производство альтернативных материалов, таких как сталь или алюминий.

Отрицательные аспекты влияния ПКМ на экологию:

Использование органических растворителей: При производстве ПКМ часто используются органические растворители, которые являются летучими органическими соединениями (ЛОС) и способствуют образованию смога и загрязнению воздуха.

Энергозатраты: Производство некоторых видов армирующих волокон (например, углеродного волокна) является энергоемким процессом.

Переработка:

- Сложность переработки: Переработка ПКМ является сложной и дорогостоящей задачей из-за их сложной структуры и разнообразия компонентов.
- Ограниченность способов переработки: Существующие технологии переработки ПКМ (например, пиролиз) часто приводят к образованию вредных выбросов.
- Захоронение отходов: Большинство отходов ПКМ в настоящее время захоранивается на полигонах, что приводит к загрязнению почвы и грунтовых вод.

Выбросы микропластика:

- Износ и разрушение: Под воздействием внешних факторов ПКМ могут разрушаться, выделяя микропластик, который загрязняет окружающую среду и попадает в пищевую цепь.
- Использование невозобновляемых ресурсов:
- Нефтехимическое сырье: Многие полимерные матрицы для ПКМ производятся из нефтехимического сырья, что связано с использованием невозобновляемых ресурсов и выбросами парниковых газов.

Токсичность компонентов

Некоторые компоненты ПКМ (например, отвердители, стабилизаторы) могут быть токсичными и представлять опасность для здоровья человека и окружающей среды.

Опираясь на полученные аспекты влияния ПКМ на экологию имеет место следующий вопрос: возможно ли переработать отработанные полимерно-композитные материалы?

Низкий уровень переработки ПКМ является глобальной проблемой.
Статистика по основным странам и регионам:

- Европейский Союз (ЕС): Перерабатывается примерно 30-40% отходов ПКМ. Основная часть идет на сжигание с рекуперацией энергии или на захоронение. Механическая переработка преобладает, но ее масштабы ограничены.

- США: Уровень переработки ПКМ значительно ниже, чем в ЕС, оценивается в менее 5%. Большая часть отходов отправляется на полигоны.

- Россия: Практически отсутствует система переработки ПКМ. Подавляющее большинство отходов захоранивается. Уровень переработки оценивается менее 1%.

- Китай: Переработка ПКМ находится на начальном этапе развития. Уровень переработки, по разным оценкам, составляет менее 10%. Основной акцент делается на механической переработке и использовании отходов в качестве наполнителей.

Однако, если опираться на всемирные данные, то в настоящее время, во всем мире уровень переработки полимерно-композитных материалов достигает 5-10% от общего производства данной продукции.

Основными проблемами для переработки и утилизации ПКМ являются сложность разделения компонентов ПКМ (полимерной матрицы и армирующего волокна) и ограниченность технологий переработки.

Разделить полимерные композиционные материалы (ПКМ) на полимерную матрицу и армирующее волокно сложно из-за:

- Прочной связи: Химические и механические связи между матрицей и волокном.

- Плотного расположения: Матрица плотно встроена между волокнами.

- Разрушения материалов: Попытки разделения приводят к разрушению матрицы и волокна.

- Разнообразия материалов: Разные типы матриц и волокон требуют разных методов.
- Экономической невыгодности: Разделение дорого и не всегда окупается.
- Экологических проблем: Некоторые методы загрязняют окружающую среду.

Что касается переработки, то технологии переработки ПКМ, такие как пиролиз, механическое измельчение и химический рециклинг, имеют существенные ограничения:

Механическая переработка - измельчение отходов в порошок/гранулы для повторного использования в качестве наполнителя или добавки.

- Преимущества: Относительно простая технология.
- Недостатки: Ухудшение свойств материала, ограниченное применение, необходимость сортировки.

Термическая переработка (Пиролиз) - разложение полимера высокой температурой в бескислородной среде для получения жидких и газообразных продуктов (топливо, мономеры).

- Преимущества: Возможность получения полезных продуктов.
- Недостатки: Высокое энергопотребление, выбросы, деградация волокна.

Химическая переработка (Сольволиз, Гликолиз) - разложение полимера химическими реагентами для получения мономеров или олигомеров.

- Преимущества: Возможность регенерации исходных компонентов.

- Недостатки: Высокая стоимость реагентов, сложность и селективность процесса.

Энергетическая утилизация (Сжигание) - сжигание отходов с целью получения энергии.

- Преимущества: Уменьшение объема отходов.
- Недостатки: Выбросы загрязняющих веществ. (Предпочтительно использовать с системами улавливания и очистки).

Захоронение на полигонах - Размещение отходов на специально оборудованных полигонах.

- Преимущества: Самый дешевый способ утилизации.
- Недостатки: Загрязнение почвы и воды, выделение парниковых газов. (Наименее предпочтительный вариант).

Другие методы:

- Использование в качестве строительных материалов (например, добавка в цемент).
- Переработка в активированный уголь.

Ключевой вывод: К сожалению, на данный момент идеального метода переработки ПКМ не существует. Выбор оптимальной технологии зависит от типа ПКМ, объема отходов, экономических факторов и экологических требований. Комплексный подход, сочетающий различные методы, может быть наиболее эффективным.

Литература

1. Корнева, М. В. Полимерные композиционные материалы: технология, свойства, применение / М. В. Корнева, А. Г. Толстикова. — Москва : Профессия, 2021. — 328 с.

2. Ермаков, А. И. Экологические проблемы производства и утилизации полимерных материалов / А. И. Ермаков, А. С. Куркин // Экологический вестник научных центров Черноморского экономического сотрудничества. — 2020. — № 2. — С. 45–53.

3. Александрова, Н. А. Перспективы вторичной переработки стекло- и углепластиков / Н. А. Александрова, А. Е. Беляев, О. А. Ларионова // Полимерные материалы и технологии. — 2020. — Т. 6, № 4. — С. 123–131.

4. Хорошавин, А. А. Экологические риски при производстве и утилизации изделий из композитных материалов / А. А. Хорошавин, В. С. Родионова // Экология промышленности. — 2022. — № 3. — С. 90–97.

5. Пилла, С. Справочник по переработанным термопластикам: обработка и свойства / С. Пилла (ред.). — Cham : Springer, 2023. — XXV, 567 стр. — ISBN 978-3-031-15206-9. — DOI: 10.1007/978-3-031-15207-6.

6. Баранов, В. Г. Полимерные композиты: технология, свойства, применение / В. Г. Баранов, А. И. Сидоров — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 368 с. - ISBN 978-5-8114-2847-1.

7. Миронова, Т. Н. Экологические аспекты применения композитных материалов в промышленности / Т. Н. Миронова // Экология и промышленность России. — 2021. — № 5. — С. 44–49.

Literature

1. Korneva, M. V. Polymer Composite Materials: Technology, Properties, and Applications / M. V. Korneva, A. G. Tolstikov. — Moscow: Professiya, 2021. — 328 p.

2. Ermakov, A. I. Environmental Issues in the Production and Recycling of Polymer Materials / A. I. Ermakov, A. S. Kurkin // Environmental Bulletin of the Scientific Centers of the Black Sea Economic Cooperation. — 2020. — No. 2. — Pp. 45–53.

3. Aleksandrova, N. A. Prospects for the Recycling of Glass and Carbon Fibers / N. A. Aleksandrova, A. E. Belyaev, and O. A. Larionova // Polymer Materials and Technologies. — 2020. — Vol. 6, No. 4. — Pp. 123–131.
4. Khoroshavin, A. A. Environmental Risks in the Production and Recycling of Composite Materials / A. A. Khoroshavin, V. S. Rodionova // Industrial Ecology. — 2022. — No. 3. — Pp. 90–97.
5. Pilla, S. Handbook of Recycled Thermoplastics: Processing and Properties / S. Pilla (ed.). — Cham : Springer, 2023. — XXV, 567 p. — ISBN 978-3-031-15206-9. — DOI: 10.1007/978-3-031-15207-6.
6. Baranov, V. G. Polymer composites: technology, properties, application / V. G. Baranov, A. I. Sidorov — St. Petersburg: Lan, 2022. — 368 p. - ISBN 978-5-8114-2847-1.
7. Mironova, T. N. Environmental aspects of the use of composite materials in industry / T. N. Mironova // Ecology and Industry of Russia. — 2021. — No. 5. — Pp. 44–49.