

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ ПЕРЕРАБОТКИ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Быков С.И. (ИТМО)

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор Баранов А.Ю. (ИТМО)

Введение. Композитные материалы широко применяются в промышленности благодаря высокой прочности, коррозионной стойкости и малому весу. Они постепенно находят применение и в бытовых товарах — от спортивного снаряжения и мебели до электроники и элементов интерьера. Однако их переработка остаётся нерешённой проблемой из-за сложной многокомпонентной структуры, затрудняющей разделение и повторное использование материалов. В результате менее 1% отходов подвергается вторичной переработке, тогда как основная масса утилизируется путём захоронения или сжигания [1], что создаёт экологические риски и препятствует развитию циркулярной экономики.

Традиционные методы переработки малоэффективны из-за сложной структуры композитов, включающей матрицу и армирующие волокна (углеродные, стеклянные, базальтовые, арамидные). Существующие технологии переработки делятся на три основные группы: механическая, термическая и химическая. Несмотря на перспективность каждого подхода, их широкое внедрение ограничено технологическими и экономическими барьерами.

Основная часть. Механическая переработка заключается в измельчении композитных материалов. При такой переработке одновременно разрушаются как матрица, так и армирующие волокна. Этот метод требует низких энергозатрат, но значительно снижает прочностные характеристики волокон, что ограничивает их повторное использование в ответственных конструкциях [2].

Термическая переработка проводится при 450–700°C и позволяет извлекать углеродные волокна, сохраняя их прочность [2]. Однако этот метод требует высокой энергоёмкости, разрушает стекловолокна и сопровождается выбросами CO₂ [2,3].

Химическая переработка даёт возможность извлекать чистые волокна без значительных повреждений, растворяя матрицу. Однако высокая стоимость и сложность масштабирования ограничивают её промышленное применение [2,3].

Несмотря на существующие технологии, их широкому внедрению мешают несколько факторов:

- недостаточно развитая инфраструктура (в мире функционирует лишь несколько специализированных заводов, таких как ELG Carbon Fibre);
- низкая экономическая эффективность методов переработки;
- отсутствие нормативных требований и экономических стимулов для внедрения технологий переработки.

Перспективным решением является использование жидкого азота при механической переработке. Охлаждение композитов до температур от -40°C до -196°C делает матрицу хрупкой (в зависимости от типа полимера), упрощая её разрушение и позволяя выделять армирующие волокна без значительных повреждений. Этот метод особенно эффективен для углеродных и базальтовых волокон, которые сохраняют механические свойства при экстремально низких температурах [4]. В отличие от традиционных методов измельчения, криогенная обработка позволяет сохранять прочностные характеристики вторичных материалов.

Ключевым ограничением данного подхода остается высокая энергоёмкость, связанная с производством жидкого азота и поддержанием низких температур. Это снижает экономическую эффективность метода и ограничивает его широкое применение. Одним из возможных решений может стать использование теплоотводящей способности сжиженного

природного газа (СПГ) при его регазификации. В процессе перехода из жидкого в газообразное состояние СПГ поглощает до 900 кДж теплоты, что можно эффективно применять для сжижения азота [5]. Интеграция этой технологии позволит существенно сократить энергозатраты на производство жидкого азота и повысить рентабельность криогенной переработки.

Выводы. Переработка композитных материалов остаётся сложной задачей из-за их многокомпонентной структуры и низкой эффективности существующих технологий. Механическая переработка снижает прочностные характеристики волокон, термическая требует значительных энергозатрат и сопровождается выбросами CO₂, а химическая остаётся дорогостоящей и труднореализуемой.

Перспективным решением является использование жидкого азота при механической переработке, позволяющее сохранять свойства армирующих волокон. Однако высокая энергоёмкость ограничивает применение данного метода, что может быть решено за счёт использования теплоотводящей способности сжиженного природного газа (СПГ) при его регазификации.

Список использованных источников:

1. Комплексная научно-техническая программа полного инновационного цикла "Новые композиционные материалы: технологии конструирования и производства". [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/407286310/>, свободный. – Дата обращения: 11.02.2025.
2. Krauklis A. E. et al. Composite material recycling technology—state-of-the-art and sustainable development for the 2020s //Journal of Composites Science. – 2021. – Т. 5. – №. 1. – С. 28.
3. Дергунова Л. А., Самаркина Е. Е., Ваганова Е. С. Методы утилизации композиционных материалов //Актуальные проблемы техносферной безопасности. – 2020. – С. 80-83.
4. Sapi Z., Butler R. Properties of cryogenic and low temperature composite materials—A review //Cryogenics. – 2020. – Т. 111. – С. 103190.
5. Noor Akashah M. H. et al. Utilization of cold energy from LNG regasification process: A review of current trends //Processes. – 2023. – Т. 11. – №. 2. – С. 517.

