

ния – до 0,05, и повышению предельного давления схватывания до 1,8 МПа, при этом PV составляет 7,2 м/с·МПа. Введение 5 % Sn или 10 % Cu и 3 % BN позволяет поднять предельное давление схватывания и снизить коэффициент трения. Материал с добавкой 10 % олова и 5 % нитрида бора обладает максимальными свойствами: предельное давление схватывания – 4,5 МПа; коэффициент трения – 0,03; износ – 0,14–0,16 мкм/км; PV – 12,2 МПа·м/с.

3. Представлены особенности процесса изнашивания материалов с различными добавками и контртел.

ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИОЛЕФИНОВ И МЕТОДЫ ИХ УТИЛИЗАЦИИ

К. В. Ефимчик, Е. Ф. Кудина

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель,
Беларусь, тел.: +375 (29) 743-96-78, e-mail: efim_by@mail.ru*

По мере совершенствования техники и технологии промышленного производства в области машиностроения, судостроения, автомобилестроения, а также военной и космической техники все острее возникает потребность в разработке качественно новых полимерных конструкционных материалов, способных работать в экстремальных условиях эксплуатации. Ориентирование исследований на стандартные подходы модифицирования структуры и свойств полимерных композиционных материалов (ПКМ) с использованием различных типов неорганических и полимерных порошковых наполнителей, пластификаторов, стабилизаторов, а также простое смешивание полимера с полимером в настоящее время уже не позволяют получать ПКМ, отвечающие новым повышенным требованиям современной техники. Процесс замещения дорогостоящих цветных металлов на пластики обеспечивает достижение глобальных целей, таких

как: высокие прочностные свойства и теплостойкость, устойчивость к агрессивным средам, оптимальные триботехнические характеристики в сочетании с высокой производительностью оборудования по изготовлению конструкционных изделий на их основе [1].

Отрасль производства полимеров и продукции на основе полимеров является одной из самых динамично развивающихся, а количество отраслей потребления полимерных материалов охватывает практически все сферы промышленного производства (рис. 1).

Технологии получения композиционных материалов зависят, прежде всего, от типа вводимого наполнителя и его агрегатного состояния. В свою очередь, технология получения определяет свойства готового композиционного материала. Поэтому выбор технологии должен определяться типом, количественным соотношением и структурой исходных компонентов [2].

Наиболее используемым технологическим приемом получения ПКМ является *смешивание*, которое используется для обеспечения однородности готового композитного материала. Путем смешивания можно вводить твердый или жидкий компонент в расплавленную основу, комбинировать сухие или жидкие добавки в различных соотношениях.

Для получения более сложных и высокотехнологичных композитов используется метод *радикальной полимеризации*, основанный на химической прививке макромолекул к твердой поверхности. В процессе радикальной полимеризации можно целенаправленно регулировать структуру и свойства материала. Процесс радикальной полимеризации является наиболее дорогостоящим, поэтому используется только на высокотехнологичных производствах.

Метод *ионно-координационной полимеризации* позволяет формировать тончайший слой компонента, обычно полиолефина, на поверхности наполнителя. В качестве наполнителя наиболее часто используют металлы, графит, стекло, а также различные органические продукты.

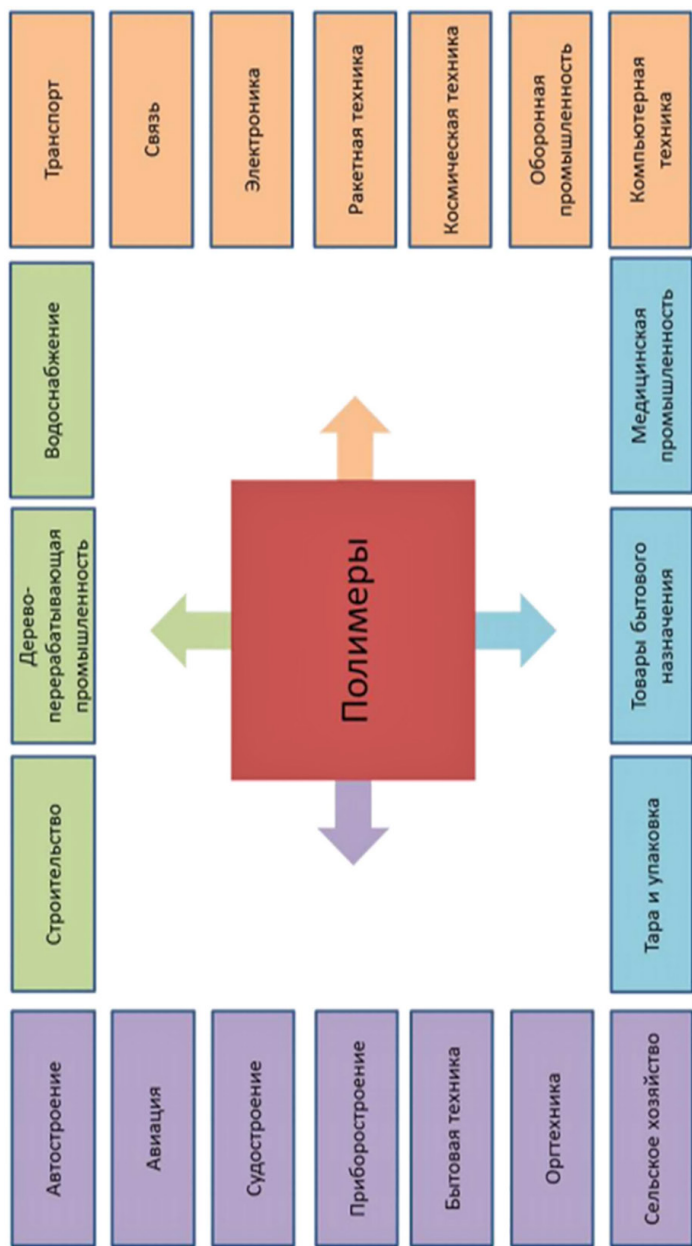


Рис. 1. Отрасли применения полимеров

Развитие химической технологии позволяет проводить модифицирование матрицы ПКМ, используя такие процессы, как сшивание, сополимеризация и смешивание полимеров. Выбор технологии производства зависит от типа получаемого композита, области использования и стоимости. Наиболее дешевыми композитами являются армированные материалы, которые чаще всего используются в строительстве.

Структура полимерных композиционных материалов определяется типом используемых компонентов. Выделяют композиты с газообразным, жидким, твердым и волокнистым наполнителем. К композитам с газообразным наполнителем относятся ячеистые полимеры, такие как пенопласт. Структура этих материалов должна быть однородной, без дефектов.

Структура композитов с жидким наполнителем отличается тем, что в состав материала входят жидкости, в некоторых случаях выполняющие роль пластификатора. К таким композитам относятся различные смолы и масла.

Композиты с твердым наполнителем являются наиболее распространенным материалом с низкой стоимостью. Чаще всего твердый наполнитель используется для повышения прочности готового материала. Количество, размер и концентрация наполнителя определяют свойства композита.

Композиты с волокнистым наполнителем используют благодаря повышенной прочности. В качестве наполнителя чаще всего применяют углеродные и борные. Свойства композитов с волокнистым наполнителем определяются ориентацией волокон в готовом материале [3].

В Республике Беларусь основными предприятиями, занимающими лидирующие позиции по производству композиционных материалов на основе термопластов, являются следующие: завод «Полимир» (Новополоцк), ОАО «Могилёвхимволокно» (Могилёв), компания «Химкорпопласт» (Минск), ОАО «Борисовский завод пластмассовых изделий» (Борисов), ООО «ВелесМаш» (Минск), ОАО «Завод «Белпласт» (Минск), УП «Канпласт» (Минск), ООО «Пластик-технолоджиз» (Минск), ЧТПУП «БелЛитПласт» (Смолевичи) [4].

В настоящее время остро стоит вопрос не только по получению ПКМ, но и по их утилизации. В соответствии с ГОСТ 30772 утилизация отходов – это деятельность по использованию отходов на этапах его технологического цикла либо переработка и повторное их применение. Рециклинг – разновидность переработки отходов, связанная с повторным использованием сырья по прямому назначению. Он подразумевает возврат сырья, прошедшего обработку, в производственный цикл. Таким образом, рециклинг – более узкое понятие по отношению к утилизации [5].

Анализ методов утилизации отходов ПКМ отечественных и зарубежных предприятий показал, что их можно классифицировать по способам воздействия на пластиковые отходы: механические, физико-химические и термические (рис. 2).

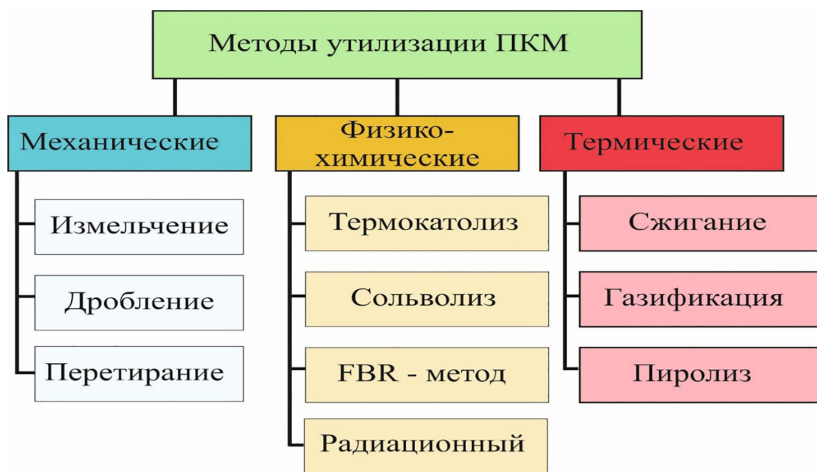


Рис. 2. Методы утилизации полимерных композиционных материалов

Все способы утилизации ПКМ объединяет присутствие стадии разрушения органической матрицы (связующего), чтобы выделить наполнитель с получением на выходе вторичных материальных ресурсов (ВМР) [6].

Механический метод представляет собой измельчение, дробление и перетирание пластиковых материалов для получения

рециклата – материала, впоследствии используемого для изготовления других пластмассовых изделий. На первом этапе отходы сортируют по типу и состоянию пластика, степени загрязненности. После этого материал проходит этап предварительного измельчения, дробления и перетирания. Затем его сортируют, моют и высушивают, после чего обрабатывают в термических установках для получения расплава однородной консистенции. Расплавленный материал отправляют в экструдер для формирования промежуточных гранул либо напрямую – для создания вторичной продукции. Для осуществления процесса используют дробилки и грануляционные установки.

Физико-химический метод основан на деструкции полимерного связующего с выделением из ПКМ наполнителя, например, волокон или других полезных компонентов. К основным перспективным физико-химическим методам относятся радиационный, термокатализ, сольволиз и окисление в псевдооживленном слое (fluidized bed process – FBP).

В результате реализации физико-химического метода образуется готовое вторичное сырье, такое как новый пластик или компоненты для изготовления нового пластика, а также ценные продукты, такие как метанол, транспортное топливо для авиации и автомобилей, воски для свечей, синтетическая нефть.

Существуют следующие **термические методы** утилизации ПКМ в зависимости от количества используемого кислорода:

- сжигание (при содержании кислорода, близком или превышающем стехиометрическое значение);
- газификация (при недостатке кислорода);
- пиролиз (отсутствие кислорода).

Метод сжигания ПКМ – это процесс разложения материала с последующим его полным разрушением. Данный метод нецелесообразен для получения вторичного пластика, однако эффективен при использовании в качестве топлива, так как единственным продуктом, который может быть использован в этом процессе, является тепло. Кроме этого, сжигание без использования эффективных дорогостоящих фильтров ведет к загрязнению окружающей среды (воздушных и водных бассейнов), по-

этому данный метод утилизации запрещен во многих странах Европейского союза [7].

Метод газификации представляет процесс разложения ПКМ с получением синтез-газа для использования в производстве тепловой и электрической энергии. Недостатками методов сжигания и газификации являются уничтожение наиболее ценных составляющих ПКМ и высокая вероятность выброса вредных газов в атмосферу.

Самым распространенным и эффективным методом утилизации армированных пластиков в настоящее время является пиролиз. Условно его разделяют на следующие виды:

- низкотемпературный (300...500 °С), продуктами которого являются армирующие волокна, а также продукты деструкции полимерной матрицы – масла и некоторые твердые остатки;

- среднетемпературный (500...800 °С), продуктами которого являются армирующие волокна, масла и газы, в меньшей степени твердые остатки;

- высокотемпературный (800...1500 °С), продуктами которого являются армирующие волокна и пиролизные газы, выход твердых остатков и масел незначителен.

Процесс пиролиза проводят при отсутствии кислорода, часто в среде инертного газа – азота.

Таким образом, получение композиционных материалов на основе полиолефинов, а также последующая их утилизация, являются сложными как техническими, так и технологическими процессами, требующими значительных экономических затрат, наличия высокотехнологического оборудования и высококвалифицированного персонала.

В настоящее время основными тенденциями в разработке композиционных материалов являются:

- увеличение температурного диапазона и повышение эксплуатационных характеристик материалов;

- снижение пористости и степени влагопоглощения высокотемпературных ПКМ;

- повышение пожаробезопасности;

- проведение работ по созданию материалов с использованием различных текстильных форм армирующих наполнителей;
- снижение температуры переработки высокотемпературных материалов;
- экологическая безопасность.

Литература и источники

1. *Кахраманов, Н. Т.* Состояние проблемы получения и исследования структуры и свойств нанокмпозитов на основе полиолефинов и минеральных наполнителей / Н. Т. Кахраманов, А. Д. Гулиев, Х. В. Аллахвердиева // Пластические массы. – 2021. – № 11–12. – С. 46–52.
2. *Каблов, В. Ф.* Современные проблемы полимерной науки и технологии / В. Ф. Каблов. – Волгоград : ВПИ (филиал) ВолгГТУ, 2018. – 144 с.
3. *Шитов, Д. Ю.* Композитные материалы на основе полипропилена с углеродными нанонаполнителями / Д. Ю. Шитов, Т. П. Кравченко, В. С. Осипчик // Пластические массы. – 2013. – № 2. – С. 29–33.
4. *Производители* композитных материалов Беларуси [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://factories.by/producers/proizvodstvo-kompozitnykh-materialov?ysclid=lc0bqreewo533885045>. – Дата доступа: 22.12.2022.
5. *Кудина, Е. Ф.* Методы утилизации и рециклинга полимерных композиционных материалов / Е. Ф. Кудина, К. В. Ефимчик // Полимерные материалы и технологии. – 2022. – Т. 8, № 4. – С. 77–86. doi:10.32864/polymmattech-2022-4-77-86
6. *Петров, А. В.* Технологии утилизации композиционных материалов [Электронный ресурс] / А. В. Петров, М. С. Дориомедов, С. Ю. Скрипачев // Композитный мир : науч.-попул. журн. – 2021. – Режим доступа: <https://compositeworld.ru/articles/tech/id60570795937fe40013900a9c>. – Дата доступа: 21.12.2022.
7. *Тукачева, К. О.* Термические методы утилизации и уничтожения полимерных композиционных материалов на основе углеродных волокон / К. О. Тукачева, Ю. В. Ильиных, Г. В. Слюсарь // Бюллетень науки и практики. – 2018. – Т. 4, № 12. – С. 51–61. doi:10.5281/zenodo.2253382