

УДК 621.763



А.Н. Котомчин, Е.Ю. Ляхов
Приднестровский государственный университет имени Т.Г. Шевченко,
Бендерский политехнический филиал

ИССЛЕДОВАНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИМЕРНОЙ МАТРИЦЫ ТИПА ЭД ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ТЕХНИКИ

В статье представлены результаты проведенного анализа существующих полимерных композиционных материалов на основе полимерной матрицы типа ЭД, которые применяют для восстановления деталей автомобилей, дорожно-строительной техники, специализированного автотранспорта. Полученные результаты исследований дали возможность сформулировать предложения по совершенствованию существующих составов и способов нанесения с целью улучшения физико-механических свойств и повышению надежности при их использовании.

Полимерные композиционные материалы, восстановление, детали, физико-механические свойства, технология.

Введение

В процессе эксплуатации техники (автомобильной, дорожно-строительной) одним из важных этапов жизненного цикла является ее поддержание в исправном состоянии путем качественного обслуживания и ремонта. На современном этапе развития техники ремонт и восстановление работоспособности является основным способом сохранения ресурсов предприятий и снижения «давления» на экологию за счет снижения потребности в новых ресурсах для производства новых автомобилей [4]. Это обусловлено тем, что при производстве автомобиля, дорожно-строительной техники затрачивается очень много ресурсов, влияющих на экологию. Так, например, для производства одной тонны чугуна необходимо добыть до 3 тон железной руды, потом ее переработать в необходимый состав стали и т.д., а за этот период выбросов в атмосферу вредных веществ будет не мало. Это касается

любой техники, в том числе и электромобилей, где кроме металлических изделий присутствуют другие вредные элементы – литий, кобальт и др. [3, 11].

Поэтому основным направлением для снижения затрат на ремонт техники и снижения выбросов вредных веществ в окружающую среду является восстановление изношенных деталей. Затраты на приобретение новых запасных частей могут достигать до 75 % (данные ГОСНИТИ) [6]. Износы ресурсопределяющих деталей в пределах 80–85 % в основном не превышают 0,3...0,5 мм, при этом только 15 % деталей, поступающих в ремонт, подлежат окончательной выбраковке. В результате остальные можно восстановить, причем себестоимость восстановления составит 10...50 % себестоимости изготовления, а также не будут тратиться ресурсы на производство новой, что снизит выбросы с атмосферу [2, 7].

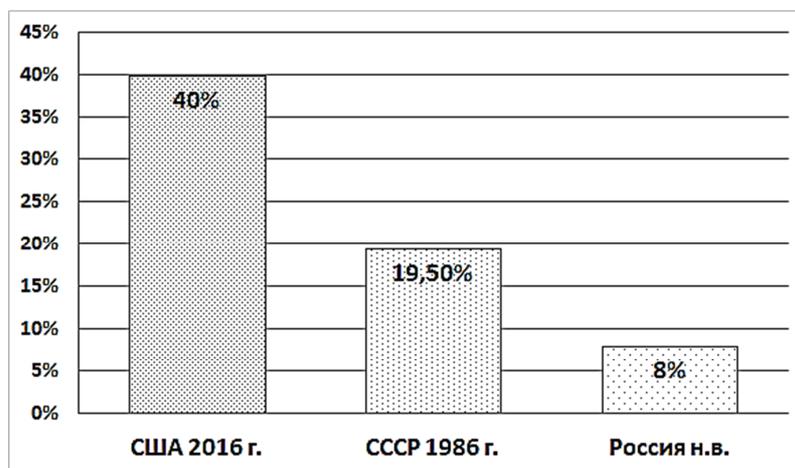


Рис. 1. Доля восстановленных деталей [2]

Сравнительная стоимость новых и восстановленных ресурсопределяющих деталей

Наименование деталей	Стоимость деталей, дол. США		Цена восст. детали в % от цены новой
	новая (ориг.)	восстановленная	
Блок цилиндров MB	2830	575	20
Головка блока Deutz BFL 413 F (на 1 цилиндр)	250	52	21
Вал распределительный Deutz	250	54	22
Коленчатый вал Deutz	634	156	25

Согласно рисунку 1 по данным общемировой практики в 2016 году в развитых странах (США, Япония) доля восстановленных деталей автотранспорта в поставках новых составляла 35–40 %. При этом в России на 2024 этот показатель составляет 8–9 % (данные ГОСНИТИ). В бывшем СССР этот показатель был в два раза больше. Но из-за упадка и разрушения межгосударственных связей материально-техническая ремонтная база России сильно пострадала и пришла в упадок. Из-за чего ремонт техники в основном осуществляется путем замены изношенной или неисправной детали агрегата новым. Это увеличило стоимость эксплуатации и тем самым увеличило стоимость работ в целом, что финансово увеличило нагрузку на предприятия, эксплуатирующие технику, и привело к их разорению.

Так, по данным [5, 6] стоимость новых и восстановленных запасных частей к двигателям зарубежного производства (табл. 1) значительно отличается, что делает использование восстановления в качестве способа снижения затрат на эксплуатацию техники целесообразным.

Теоритические предпосылки

Выполнив анализ существующих способов восстановления деталей техники, были сделаны выводы, что одним из перспективных способов восстановления являются полимерные композиционные материалы [8].

При анализе литературных источников были выделены следующие преимущества ПКМ перед другими способами [8]:

- 1) возможность восстановления разнородных материалов (металл-пластик и т.п.);
- 2) при нанесении отсутствие термического влияния;
- 3) отсутствие на покрытии трещин и короблений;
- 4) отсутствие влияния на восстанавливаемую поверхность;
- 5) достаточно высокая герметичность получаемых соединений;
- 6) низкая себестоимость восстановления, из-за простоты технологического процесса.

Поэтому задачи исследования следующие:

- ✓ провести анализ существующих составов ПКМ, используемых для восстановления деталей;
- ✓ провести анализ структуры ПКМ (матрицы) – основа и армирующие добавки (волокна);
- ✓ проанализировать способы нанесения ПКМ;

✓ сделать выводы и предложения по дальнейшим исследованиям.

Известно, что в ПКМ для получения необходимых физико-механических свойств требуется наличие двух основных компонентов – полимерной матрицы и армирующей добавки (рис. 2).



Рис. 2. Структура полимерного композиционного материала

Согласно авторам [1, 9] существуют два вида полимерной матрицы – термореактивные и термопластичные.

К свойствам полимерной матрицы предъявляются следующие требования:

- ✓ высокая температурная стойкость;
- ✓ низкая смачиваемость и поглощение влаги;
- ✓ оптимальная прочность на растяжение, высокая вязкость разрушения, оптимальная адгезия покрытия, с высокой вязкостью разрушения;
- ✓ достаточно высокая ударная прочность покрытия;
- ✓ высокая адгезионная прочность с выдерживанием больших удлинений;
- ✓ высокая жизнеспособность при низкой токсичности и пониженной температуре отверждения и др.

Наибольшее распространение получили термореактивные матрицы при восстановлении деталей, так как обладают лучшей прочностью, сопротивлению на растяжение и лучшими прочностными свойствами.

Главные достоинства терморепактивных матриц [1]:

- ✓ хорошие технологические свойства: низкая вязкость связующего, хорошая смачиваемость и пропитываемость армирующего материала, сравнительно низкие температуры отверждения;

- ✓ хорошая адгезия к большинству волокон;
- ✓ повышенная теплостойкость;
- ✓ стойкость в различных средах: химическая, водо- и атмосферостойкость, низкая проницаемость для жидкостей и газов;

- ✓ свойства можно регулировать в широком диапазоне путем варьирования компонентов, добавления модификаторов, катализаторов и изменения условий отверждения.

Недостатки:

- ✓ хрупкость, низкие вязкость разрушения и ударная прочность (усугубляются для высокотеплостойких матриц);

- ✓ невозможность вторичной переработки;
- ✓ длительное время отверждения из-за необходимости проведения экзотермической химической реакции в мягком режиме (без значительных перегревов);

- ✓ ограниченное время жизни препрега;
- ✓ значительная химическая усадка в большинстве случаев.

Результаты исследований

Анализ существующих составов ПКМ показал разнообразие их по производителям и области применения. В таблице 2 выделим терморепактивные составы, используемые в России, которая является одним из их производителей. Данные необходимые компоненты

для получения композиций используют в качестве полимерной матрицы.

При проведении анализа второго компонента ПКМ – армирующей добавки – были выделены наиболее прочные по своим характеристикам армирующие волокна, которые показаны в таблице 3.

Согласно данным таблицы 3 установлено, что наибольшими прочностными характеристиками обладает углеродное высокомодульное волокно, которое в данный момент уже используют для изготовления фюзеляжей самолетов, в том числе для крыльев. Однако данный материал имеет высокую стоимость и ограничения по использованию в производстве и восстановлению деталей техники, так как получение ПКМ с таким армирующим волокном требует дорогостоящего оборудования и технологически сложно применять для восстановления деталей [9].

Поэтому использование других армирующих волокон возможно при условии соответствия физико-механическим свойствам ПКМ и условиям эксплуатации техники, при этом способ и состав должен обладать простотой использования и небольшой стоимостью, чтобы стоимость восстановления не превышала 50 % от стоимости новой детали и ресурс восстановленной также был не менее 80 % от ресурса новой детали [4].

Обзор существующих способов нанесения ПКМ показал, что есть большое разнообразие нанесения в зависимости от вида детали и мест, области применения и получения необходимых свойств покрытия, также в зависимости от места износа, где необходимо провести восстановление.

Таблица 2

Составы композиций на основе полимерной матрицы ЭД [9]

№	Компоненты	Количественный состав, масс. ч.				
		I	II	III	IV	V
1.	Полимерная матрица (эпоксидная смола) ЭД-20	50	100	100	45	50
2.	Армирующая добавка (порошок алюминия, бронзы, углеродный)	75	40	-	75	75
3.	Стекловолокно	20	10	15	20	-
4.	Отвердитель	19	20	20	8,7	10

Таблица 3

Свойства различных армирующих волокон [9]

Материал волокна	Прочность, ГПа	Модуль упругости, ГПа	Плотность, г/см ³	Диаметр, мкм
Ароматический полиамид	3,8...5,5	120...185	1,43...1,47	10...12
Полибензотриазол	3,0...3,3	335	1,5	
Полиэтилен	2...3,5 (7)	50...125 (200)	<1	30...35
Углеродное высокопрочное	3,6...7,2	300	1,8	5...10
Углеродное высокомодульное	2,5...3,25	500...800	1,8...2,2	5...10
Оксид алюминия	2,2...2,4	385...420	3,95	10...25
Карбид кремния	3,1...4,0	410...450	2,7...3,4	100...140

Выделим наиболее распространенные и перспективные:

- ✓ намазыванием;
- ✓ газопламенным напылением;
- ✓ вихревым, вибрационным способами;
- ✓ в электромагнитном поле с ультразвуковым воздействием [8, 10];
- ✓ литьем под давлением;
- ✓ прессованием и др.

Выделим в качестве примера схему (рис. 3) технологического процесса нанесения ПКМ на основе ЭД-20 под посадочное место подшипников качения [8, 10].

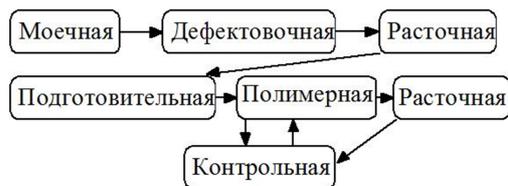


Рис. 3. Технологический процесс восстановления посадочного места под подшипник

Из рисунка 3 видно, что использование ПКМ в качестве способа восстановления может позволить сократить количество операций в технологическом процессе, что снизит себестоимость восстановления и даст возможность внедрить их на предприятиях Приднестровья.

Выводы

На основании изложенного материала можно сделать следующие выводы:

- ✓ полимерные композиционные материалы являются перспективными в области восстановления и реинжиниринга деталей техники, которые работают под нагрузкой;
- ✓ физико-механические свойства ПКМ зависят от выбора полимерной матрицы и армирующей добавки;
- ✓ наиболее рациональным способом совершенствования ПКМ является исследование армирующих добавок в составе существующей полимерной матрицы с подбором наиболее рационального способа нанесения, с целью получения покрытий с высокими физико-механическими свойствами.

Литература

1. Амирова, Л. М. Композиционные материалы на основе эпоксидных олигомеров / Л. М. Амирова, М. М. Ганиев, Р. Р. Амиров. – Казань : Новое знание, 2002. – 167 с.
2. Артеменко, А. И. Анализ отказов деталей гидропривода специализированного автотранспорта / А. И. Артеменко, А. Н. Котомчин // Реинжиниринг и цифровая трансформация эксплуатации транспортно-технологических машин и робототехнических комплексов : Сборник статей Московской международной межвузовской научно-технической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых, посвященной 100-летию со дня рождения ветера-

рана Великой Отечественной войны, заслуженного деятеля науки и техники, заслуженного изобретателя РФ, д.т.н., профессора Николая Федоровича Тельнова (Москва, 19–20 декабря 2023 г.). – Москва : Российский государственный аграрный университет – Московская сельскохозяйственная академия имени К. А. Тимирязева, 2024. – С. 274–278.

3. Котомчин, А. Н. Совершенствование технологии электролитического хромирования для восстановления деталей автомобилей, работающих при гидрорабразивном изнашивании : специальность 05.22.10 Эксплуатация автомобильного транспорта : специальность 05.22.10 «Эксплуатация автомобильного транспорта» : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / А. Н. Котомчин. – Москва, 2022. – 24 с.

4. Калинин, А. А. Восстановление деталей как способ повышения экологичности автотранспортного комплекса / А. А. Калинин, А. С. Янута // Научно-технические аспекты развития автотранспортного комплекса : Материалы X Международной научно-практической конференции, в рамках 10-го Международного научного форума Донецкой Народной Республики (Горловка, 31 мая 2024 г.). – Горловка : Донецкий национальный технический университет, 2024. – С. 182–184.

5. Котомчин, А. Н. Анализ отказов узлов и агрегатов специализированного автотранспорта, возникающих в процессе эксплуатации / А. Н. Котомчин, В. А. Зорин // Научно-технические аспекты развития автотранспортного комплекса 2021 : Материалы VII международной научно-практической конференции, в рамках 7-го Международного научного форума Донецкой Народной Республики «Инновационные перспективы Донбасса: Инфраструктурное и социально-экономическое развитие» (Горловка, 25 мая 2021 г.). – Горловка : Автомобильно-дорожный институт Донецкого национального технического университета, 2021. – С. 72–75.

6. Котомчин, А. Н. Анализ отказов узлов и агрегатов строительных, дорожных, подъемно-транспортных машин и специализированного автотранспорта на примере МУП «КоммуналДорСервис» г. Бендеры / А. Н. Котомчин, Ю. Г. Ляхов // Вестник Приднестровского университета. Серия: Физико-математические и технические науки. Экономика и управление. – 2019. – № 3 (63). – С. 174–178.

7. Котомчин, А. Н. Определение предельного износа деталей при эксплуатации автомобилей в Приднестровье / А. Н. Котомчин, А. И. Артеменко // Вестник Приднестровского университета. Серия: Физико-математические и технические науки. Экономика и управление. – 2021. – № 3(69). – С. 107–113.

8. Котомчин, А. Н. Повышение производительности и качества нанесения полимерных композиций при восстановлении посадочных мест под подшипники агрегатов автомобилей и дорожно-строительной техники / А. Н. Котомчин, Е. Ю. Ляхов, В. А. Зорин // Вестник Московского автомобильно-дорожного госу-

дарственного технического университета (МАДИ). – 2024. – № 2(77). – С. 82–92.

9. Кочнова, З. А. Эпоксидные смолы и отвердители: промышленные продукты / З. А. Кочнова, Е. С. Жаворонок, А. Е. Чалых. – Москва : Химия, 2006. – 200 с.

10. Ляхов, Е. Ю. Исследование процессов восстановления посадочных мест подшипников автомобилей с помощью полимерных композиционных материалов: специальность 05.22.10 Эксплуатация автомобильного транспорта : специальность 05.22.10 «Эксплуатация автомобильного транспорта» : авто-

реферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Е. Ю. Ляхов. – Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), 2022. – 24 с.

11. Янута, А. С. Анализ отказов агрегатов грузовых автомобилей КАМАЗ автотранспортных предприятий Г. Бендеры / А. С. Янута // Высокие технологии и инновации в науке : сборник избранных статей Международной научной конференции (Санкт-Петербург, 28 января 2021 г.). – Санкт-Петербург : ГНИИ «Нацразвитие», 2021. – С. 171–176.

A.N. Kotomchin, E.Yiu. Lyakhov

Pridnestrovian State University named after T.G. Shevchenko

STUDY OF EXISTING POLYMER COMPOSITE MATERIALS BASED ON ED TYPE POLYMER MATRIX FOR RESTORATION OF MACHINERY PARTS

The article presents the results of the analysis of existing polymer composite materials based on a polymer matrix of the ED type, which are used to restore car parts, road construction equipment, and specialized vehicles. The obtained research results made it possible to formulate proposals for improving existing formulations and application methods in order to improve the physical and mechanical properties and increase reliability when using them.

Polymer composite materials, restoration, details, physical and mechanical properties, technology.