

безопасности, возникающих в связи с этим, требуется реализация дополнительных мероприятий, что вступает в противоречие с жесткими требованиями рыночной экономики по минимизации издержек. Это противоречие делает задачу оптимизации ключевым приоритетом, что особенно актуально для системы «колесо – рельс» в эпоху развития тяжеловесных железнодорожных перевозок.

В рамках работ научной школы «Трибофатика» отмечается, что, несмотря на фундаментальную важность системы «колесо – рельс» для железнодорожного транспорта и активное обсуждение проблемы как на региональном, так и на международном уровне, на практике всё равно имеют место масштабные убытки от контактно-усталостных повреждений, а задача ее оптимизации до сих пор не только не решена, но и не получила четкой формулировки. В работах ученых данного направления предлагается концепция восполнения наблюдаемого пробела, путем постановки данной задачи с позиции трибофатики, т. е. с позиции многокритериальной оптимизации системы «колесо – рельс» для существующих условий движения [1].

Это стало возможным в связи с тем, что со второй половины XX века сформировалось понимание о силовых системах (в частности, «колесо – рельс»), процессы трения в которых протекают на фоне циклического объемного деформирования, по крайней мере, одного из взаимодействующих элементов (например, рельса). Проведенные всесторонние исследования и работы других авторов показали, что неконтактные циклические нагрузки (растяжение, сжатие, изгиб, кручение) в зависимости от условий эксплуатации могут существенно влиять на силу и коэффициент трения в силовой системе. В частности, установлено, что износ в силовых системах способен как значительно снижать (до двух раз), так и повышать (примерно на 10–20 %) усталостную прочность ее элементов. Это явление, известное как **прямой эффект в трибофатике**, показало, что традиционно считавшийся вредным износ может служить инструментом для управления надежностью силовых систем. С другой стороны, было показано, что усталостные повреждения также оказывают двунаправленное влияние: они могут, как снижать (в 1,5 раза и более), так и повышать (на 10–30 %) износостойкость системы, формируя другой – **обратный эффект**.

Ключевым выводом проведенных исследований явилось то, что трение/износ и усталость являются не просто взаимовлияющими факторами, но и тесно взаимодействующими явлениями. На этой основе была предложена новая методология расчета и проектирования, ориентированная не на отдельные элементы, а на механические системы в целом. Такая методология построена на теории диалектических  $\Lambda$ -взаимодействий повреждений, вызванных нагрузками различной природы.

На сегодняшний день методология расчета силовых систем, изготовленных из соответствующих материалов, несмотря на наличие научных публикаций, не получила должного нормативного оформления, и как следствие, конструкторские бюро не имеют официально утвержденных методик расчета конкретных силовых систем. Поэтому необходимо ставить и решать задачи по формированию соответствующего банка данных для реальных силовых систем машин и оборудования, и их последующему должному нормативному обеспечению. Внедрение данного подхода позволит перейти от реагирования на повреждения к активному управлению ресурсом наиболее нагруженных узлов и систем.

#### Список литературы

- 1 Трибофатическая система колесо / рельс для тяжеловесного движения: повышение нагрузок и... снижение затрат? / Л. А. Сосновский, В. А. Гапанович, В. И. Сенько [и др.] // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2016. – № 1 (32). – С. 219–226.

УДК 678

### ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТОЛЩИНЫ ДЕТАЛИ НА ПРОЦЕСС ОТВЕРЖДЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

У. Д. КОСИМОВ, Н. К. ТУРСУНОВ

*Ташкентский государственный транспортный университет, Республика Узбекистан*

При изготовлении изделий из полимерных композиционных материалов (ПКМ) большое внимание уделяется процессу укладки тканей и дальнейшей термической обработке на пути к получению высоко-технологичных узлов с достаточно высокими физическими и механическими свойствами.

Известно, что основной технологией, используемой для полимеризации связующего, является отверждение под ИК-лампой, в печи и под прессом [1]. Существенные отличия в различных свойствах матрицы и армирующего наполнителя, усадка полимерной матрицы, которая происходит в процессе отверждения связующего и термические напряжения могут послужить причиной возникновения остаточных напряжений [2]. Все эти факторы приводят к возникновению в ПКМ необратимых деформаций, которые вызывают появление дополнительных остаточных напряжений.

Соответственно кинетика процесса существенно зависит от разнотолщинности конструкции или детали из композиционного материала, времени, скорости и способа подвода тепла, используемого материала оснастки и др. [3].

Низкая теплопроводность большинства полимерных КМ решает достаточно сложную задачу обеспечения равномерности температурного поля по толщине изделия при отверждении и приводит к появлению неоднородных напряжений [4].

Цель исследования – изучить влияние толщины детали на кинетику процесса отверждения деталей из полимерных композиционных материалов на основе эпоксидного связующего для оптимизации технологических режимов полимеризации.

Для получения значений тепловыделения и рассмотрения процесса отверждения детали был произведен эксперимент, заключающийся в разогреве связующего в стаканах, с различной высотой столба жидкости (10, 20, 40 мм). Весь процесс был зафиксирован на тепловизор, и были получены значения разницы температур при отверждении образцов.

В испытании было использовано связующее Т20 – 60 с прилагаемым к нему отвердителем. Соотношение связующего к отвердителю по паспорту было заложено 100:31,6.

На образце с высотой жидкости 20 мм произошел перегрев и связующее вскипело, что наглядно показывают появившиеся в объеме пузыри. В процессе отверждения было замечено, что полимеризация не происходит во всём объеме одновременно. Было видно, как тепло передается сверху вниз по объему жидкости и на верхних слоях, которые более прогреты, процесс полимеризации начинался быстрее, в отличие от остальных лежащих вглубь слоев. Для изучения этого явления был проведен еще один эксперимент в такой же форме, но с высотой столба связующего в 20 и 40 мм.

В ходе исследования было выявлено, что подобный процесс может протекать и без внешней подачи тепла – в процессе замешивания смолы с отвердителем при пропитке изделия получившимся связующим.

Исходя из вышеизложенного рекомендуется распределять связующее в большом объеме при минимальной высоте столба жидкости, чтобы избежать вскипания.

#### Список литературы

- 1 **Панов, Ю. Т.** Современные методы переработки полимерных материалов. Переработка реактопластов : учеб. пособие / Ю. Т. Панов, Л. А. Чижова, Е. В. Ермолаева. – Владимир : ВлГУ, 2014. – 144 с.
- 2 Современные технологии получения и переработки полимерных и композиционных материалов : учеб. пособие / В. Е. Галыгин, Г. С. Баронин, В. П. Таров, Д. О. Завражин. – Тамбов : ТГТУ, 2012. – 180 с.
- 3 **Чукин, А. В.** Проверка законов теплового излучения / А. В. Чукин. – URL: <http://www.urfu.ru> (дата обращения: 25.07.2025).
- 4 **Кулик, В. И.** Связующие для полимерных композиционных материалов : учеб. пособие / В. И. Кулик, А. С. Нилов. – СПб. : Изд-во БГТУ, 2019. – 52 с.

УДК 004.94:656.073

## ВЛИЯНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПЕРЕВОЗИМЫХ ВО ФЛЕКСИТАНКАХ ЖИДКИХ ГРУЗОВ НА ДИНАМИКУ ИХ ОТНОСИТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ

*А. А. МАРКАВЦОВ*

*Конструкторско-технический центр Белорусской железной дороги, г. Минск  
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

В настоящее время увеличиваются объемы мультимодальных перевозок жидких грузов с использованием стандартных контейнеров, оснащенных эластичными вкладышами (флекситанками), что объясняется более простой организацией их доставки на длительные расстояния с использованием нескольких видов транспорта по сравнению с традиционными дорогостоящими танк-контейнерами и вагонами-цистернами. Безопасность таких перевозок напрямую зависит от динамических нагрузок от