

Устройство работает следующим образом. Пресс-масса подается в бункер, захватывается вращающимися навстречу друг другу валками. Одновременно захват одинакового количества массы при каждом обороте валков из бункера обеспечивается наличием зубьев. Пресс-масса, попадая в формовочное отверстие, сжимается зубьями. В формовочном отверстии сжимается также и резина, при этом гребни резины деформируются гораздо больше, чем впадины. Это происходит за счет разной толщины резины у гребня и впадины. После снятия давления при каждом повороте валков в формовочном отверстии волнообразная резина своими гребнями выталкивает гранулы из впадин между зубьями.

Сжатие резины происходит вследствие непрерывного хаотического теплового движения молекулярных звеньев, при этом молекулы каучука находятся не в растянутом, а в свернутом состоянии. При приложении к резине сжимающей силы молекулы каучука начинают скручиваться вдоль направления сжимающей силы. После прекращения растяжения наблюдается восстановление первоначальных размеров образца, он расширяется вследствие теплового движения молекул, которые снова стремятся принять первоначальное хаотическое свернутое состояние. Таким образом, благодаря волнообразной форме резины во впадинах зубьев и механическим процессам, протекающим в резине, достигается эффект выталкивания пресс-массы.

В результате проведенных исследований установлены рецептурно-технологические параметры переработки смеси измельченных отходов кожевенно-обувных производств и фракционированного вторичного полиэтилена в композиционный материал с улучшенными прочностными свойствами для изготовления деталей железнодорожного пути, в частности, комплектов прокладок на брусья стрелочных переводов.

УДК 625.142.21

## **ПОВЫШЕНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ РЕЛЬСОВЫХ СКРЕПЛЕНИЙ**

*В. В. ЛИТОХИНА*

*Белорусская железная дорога, г. Кричев*

*В. М. ШАПОВАЛОВ*

*Институт механики металлополимерных систем им. В. А. Белого НАН Беларуси, г. Гомель*

*В. И. ИНЮТИН, С. С. КОЖЕДУБ, М. А. КРАСНОВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Во многих странах ведется усиленный поиск оптимальной конструкции безболтовых промежуточных рельсовых креплений с пружинными клеммами, позволяющими упруго воспринимать динамические воздействия колес подвижного состава на путь без существенного снижения силы нажатия клеммы на подошву рельсов.

Одним из примеров в использовании таких креплений является безболтовое анкерное крепление СБ-3, которое успешно применяется на железных дорогах Польши и Республики Беларусь. В то же время изоляторы, применяемые в безболтовом рельсовом креплении СБ-3, изготавливаются из полиамидных материалов, которые не всегда отвечают требованиям климатических и эксплуатационных условий. В первую очередь, по причине отрицательного воздействия воды на свойства полиамидной матрицы. Сорбирование полиамидами воды из окружающей среды приводит к снижению жесткости материала, а при температурах ниже 0 °С – к значительному увеличению его хрупкости. Кроме того, в процессе эксплуатации происходит деформация изолятора из полиамидного материала. Это обуславливает постепенное ослабление нажатия упругой пружины на изолятор, что приводит к снижению погонного сопротивления сдвигу рельсовых нитей.

Учитывая это обстоятельство, а также необходимость улучшения надежности и долговечности изоляторов, обратились к композитам на основе ФФС, используя подход, основанный на целенаправленном модифицировании связующего. При этом перспективным направлением создания подобных новых композиционных материалов является использование для их изготовления вторич-

ных материалов, что позволяет создавать не только усовершенствованные изделия с улучшенными свойствами и низкой себестоимостью, но и решать вопросы охраны окружающей среды.

В связи с этим целью исследований является разработка композиционных материалов на основе фенолформальдегидной смолы (ФФС), модифицированной эпоксидной смолой (ЭД) и армированной органическими волокнами (ВВ) в присутствии дисперсного наполнителя и целевых добавок.

Методика планирования и обработки результатов эксперимента показана на примере создания композиционных материалов на основе вторичных вискозных волокон. Параметрами оптимизации служили прочность при сжатии ( $Y_1 - \sigma_{сж}$ , МПа), прочность при изгибе ( $Y_2 - \sigma_{и}$ , МПа), ударная вязкость ( $Y_3 - a$ , кДж/м<sup>2</sup>) и твердость ( $Y_4 - НВ$ , МПа), а в качестве факторов – содержание в связующих эпоксидных смол ( $X_1 - C_1$ ), фосфогипса ( $X_2 - C_2$ ) и вискозных волокон ( $X_3 - C_3$ ). Композиционный материал на основном уровне планирования содержал: ЭД-20  $20 \pm 10$  мас. ч., ФГ  $10 \pm 4$  мас. ч., вискозных волокон  $110 \pm 20$  мас. ч. на 100 мас. ч. ФФС.

Предварительно проведенные исследования показали, что наилучшие физико-механические свойства были получены у композитов с модифицированной ФФС. Так, прочность при изгибе образцов с ВВ, модифицированных ЭД-20, составила 70,7 МПа (для исходных 58,2 МПа).

При оптимизации рецептурного состава композита после обработки экспериментальных данных методом центрального композиционного ротатабельного планирования получили уравнения, отражающие влияние ингредиентов на физико-механические характеристики композиционного материала, (1)–(4):

$$Y_1 = 216,4 - 2,973X_1 - 5,854X_2 + 13,57X_3 - 2,113X_1X_2 + 3,454X_1X_3 - 1,246X_2X_3 + 1,521X_1^2 - 5,074X_2^2 - 4,096X_3^2; \quad (1)$$

$$Y_2 = 61,17 - 1,376X_1 + 0,235X_2 + 2,961X_3 + 0,258X_1X_2 + 0,742X_1X_3 - 4,033X_2X_3 + 5,577X_1^2 - 0,192X_2^2 - 3,609X_3^2; \quad (2)$$

$$Y_3 = 36,52 - 2,366X_1 - 1,048X_2 + 3,79X_3 - 0,055X_1X_2 - 1,685X_1X_3 - 1,72X_2X_3 - 2,271X_1^2 - 0,475X_2^2 - 2,577X_3^2; \quad (3)$$

$$Y_4 = 403,2 - 3,039X_1 + 2,707X_2 + 15,9X_3 + 9,25X_1X_2 - 12X_1X_3 - 8X_2X_3 - 2,243X_1^2 - 4,069X_2^2 - 11,97X_3^2. \quad (4)$$

Проверку адекватности полученных математических моделей проводим по критерию Фишера. Экспериментальные значения критерия Фишера  $F_3$  для  $Y_1, Y_2, Y_3, Y_4$  соответственно составляют 0,84, 2,31, 0,39 и 0,61. Табличное значение критерия Фишера для 5%-ного уровня значимости составляет  $F_7 = 5,05$ , следовательно, полученные уравнения адекватны.

Анализ уравнений (1)–(4) показал, что наибольшее воздействие на повышение физико-механических показателей композиционного материала оказывает содержание в связующем ВВ и взаимное влияние концентрации ЭД и ФГ.

С целью выявления причины такого влияния исследовали дифференциально-термическим методом (ДТА) взаимодействие компонентов в модельных композициях связующего. Из полученных данных видно, что добавка малых количеств ФГ как в ЭД и ФФС, так и их смесь приводит к снижению энергии активации полимеризации связующих по сравнению с ненаполненными смолами. При этом существенно снижается температура максимума экзотермического пика  $T$  на кривых ДТА ЭД и ФФС.

Приведенные данные свидетельствуют о каталитическом влиянии ФГ на процесс взаимодействия компонентов связующего. Это способствует (при одной и той же продолжительности термообработки) формированию в объеме полимерной матрицы сетчатой структуры с большей степенью сшивки по сравнению с ненаполненными смолами, что приводит к повышению физико-механических свойств.

Обработка уравнений (1)–(4) показала, что полученный материал имеет следующие физико-механические свойства: предел прочности при сжатии – 221 МПа; предел прочности при изгибе – 70,7 МПа; ударная вязкость – 41,75 кДж/м<sup>2</sup>; твердость – 430,4 МПа.

Повышение стойкости материала к фрикционной контактной усталости в процессе эксплуатации достигается использованием смеси спиртового раствора поливинилбутирала (ПВБ) и оксинитрата алюминия (ОНА). Композиционный материал на основном уровне планирования содержал: ПВБ  $5 \pm 3$  мас. ч. ( $X_1 - C_1$ ), ОНА  $20 \pm 10$  мас. ч. ( $X_2 - C_2$ ), вискозных волокон  $105 \pm 25$  мас. ч. ( $X_3 - C_3$ ) на 100 мас. ч. ФФС. Параметры оптимизации выбраны аналогичные: прочность при сжатии ( $Y_5 - \sigma_{сж}$ , МПа), прочность при изгибе ( $Y_6 - \sigma_{и}$ , МПа), ударная вязкость ( $Y_7 - a$ , кДж/м<sup>2</sup>) и твер-

дость ( $Y_8$  – НВ, МПа). Обработка экспериментальных данных позволила получить следующие уравнения регрессии (5)–(8):

$$Y_5 = 227,2 - 0,517X_1 - 1,756X_2 + 3,490X_3 + 6,996X_1X_2 - 8,340X_1X_3 - 5,083X_2X_3 + 1,559X_1^2 + 2,908X_2^2 - 3,061X_3^2; \quad (5)$$

$$Y_6 = 63,31 + 1,414X_1 - 0,124X_2 - 0,078X_3 - 0,036X_1X_2 - 4,032X_1X_3 + 2,914X_2X_3 - 1,077X_1^2 + 6,702X_2^2 + 0,458X_3^2; \quad (6)$$

$$Y_7 = 36,75 + 1,071X_1 - 0,359X_2 + 0,294X_3 + 2,106X_1X_2 - 0,671X_1X_3 - 2,687X_2X_3 - 0,846X_1^2 - 1,468X_2^2 + 0,457X_3^2; \quad (7)$$

$$Y_8 = 424,7 - 0,508X_1 + 8,477X_2 + 3,054X_3 + 1,892X_1X_2 + 0,370X_1X_3 - 10,69X_2X_3 - 6,383X_1^2 + 3,238X_2^2 + 0,103X_3^2. \quad (8)$$

Проверку адекватности полученных математических моделей (5)–(8) проводили по критерию Фишера  $F_T = 5,05$ . Экспериментальные значения критерия  $F_3$  меньше табличных и соответственно составляют 1,183; 0,207; 1,211; 1,127.

Анализ уравнений (5)–(8) показал, что наибольшее воздействие на повышение физико-механических показателей композиционного материала оказывает соотношение содержания в связующем ВВ и модифицирующей добавки ПВБ.

Из разработанных материалов изготовлены изоляторы для рельсового скрепления СБ-3, которые уложены для эксплуатационных испытаний на железнодорожном полотне. Изготовление торцевых прокладок и изолирующих втулок для скрепления позволит повысить надежность работы изолирующих стыков и рельсовых скреплений типа КБ и снизить их себестоимость в 1,5–2,0 раза.

УДК 625.143.3:620.179.05

## МАГНИТОДИНАМИЧЕСКИЙ МЕТОД РЕЛЬСОВОЙ ДЕФЕКТΟΣКОПИИ

*В. М. ЛУСТОВ*

*Белорусская железная дорога, г. Минск*

*А. Г. ЖУКОВЕЦ, Н. А. ОРЕХВО*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

При интенсивном движении поездов в рельсе возникают и постепенно развиваются различные дефекты. Если дефект не будет обнаружен вовремя, это может привести к излому рельса и крушению поезда. Значительная часть опасных дефектов может быть выявлена магнитодинамическим методом, который наряду с другими методами контроля: ультразвуковым, визуальным и измерением неровности рельсового пути – реализован в совмещенном вагоне-дефектоскопе разработки ОАО «Радиоавионика».

В 1997 году удалось реализовать новую систему намагничивания, когда магниты находятся на осях специальной индукторной тележки, т. е. оси выполняют роль соленоидов, а колеса тележки – магнитных полюсов, при этом получаем несколько положительных факторов: 1) стабильный магнитный поток, потому что нет зазора между полюсом и рельсом; 2) увеличение базы между полюсами до 3 м, а это дает более стабильный поток и более глубокое проникновение магнитного потока в рельс. В результате стало возможно находить дефекты на глубине до 15–20 мм. Ранее с помощью П-образного магнита можно было находить дефекты только на глубине до 4 мм, т. е. в несколько раз увеличилась глубина обнаружения дефектов магнитным методом.

На раме вагона между ходовыми тележками закреплена дефектоскопическая тележка, вокруг осей ее колесных пар расположены электромагниты, создающие мощный постоянный электромагнитный поток, который замыкается через колесные пары и участки рельсов между ними. Изменение магнитного поля над поверхностью рельса фиксируются индукционными датчиками (по одному на каждую нитку пути), если на головке рельса нет повреждений, то магнитное сопротивление сечения рельса не меняется, значит, не будет изменения магнитного поля над рельсом и датчик не зафиксирует отклонения от нулевого уровня. Но если в головке рельса есть дефект – магнитное сопротивление этого сечения увеличивается, а над местом дефекта происходит