

УДК 621.793:66.088

КОМПОЗИЦИОННЫЕ ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ СШИВАЮЩИХСЯ СМОЛ  
ДЛЯ СТРОИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИЕ. В. ОВЧИННИКОВ, А. С. ДАВИДОВИЧ, А. В. КИЗИК  
Гродненский государственный университет имени Янки Купалы  
Гродно, Беларусь

Износ и коррозия представляют собой ключевые деструктивные факторы, приводящие к выходу из строя деталей машин, агрегатов и металлических конструкций. Согласно статистическим данным, до 70 % поломок в машиностроении обусловлено именно естественными процессами изнашивания трущихся поверхностей. Параллельно с этим глобальный экономический ущерб от коррозии металлов достигает колоссальных масштабов. Например, в химической промышленности стран СНГ ежегодно безвозвратно теряется свыше 200 тыс. т технологического оборудования и элементов трубопроводных систем. В Соединенных Штатах Америки ежегодные прямые и косвенные потери от коррозии оцениваются, по минимальным расчетам в 70 млрд долл., что эквивалентно 4,2 % валового национального продукта страны.

Эти цифры наглядно демонстрируют острую необходимость в разработке и внедрении эффективных методов защиты ответственных узлов и конструкций. Одним из наиболее действенных и универсальных способов повышения ресурса деталей является применение специализированных защитных покрытий.

Суть данного метода заключается в создании на поверхности детали дополнительного слоя с заданными свойствами, который принимает на себя основные механические и химические нагрузки. Такие покрытия выполняют барьерную функцию, локализуя процессы коррозионно-механического разрушения в поверхностных слоях, тем самым предотвращая глубинные повреждения основного материала. В зависимости от поставленных задач защитный слой может формироваться как из материала, отличного от материала подложки (нанесение извне), так и из материала самой детали путем её модификации (химико-термическая обработка, наплавка и т. д.) [1–3].

Особое место занимают полимерные и композиционные покрытия, которые способны не только защищать поверхность, но и придавать ей особые триботехнические (антифрикционные, износостойкие) свойства, что критически важно для узлов трения скольжения и качения.

Целью настоящего исследования является разработка состава композиционного материала на основе сшивающихся (отверждаемых) олигомеров, а также сопутствующей технологии его нанесения для формирования антифрикционного износостойкого покрытия, предназначенного для работы в тяжело нагруженных узлах трения.

В качестве основы (матрицы) для разрабатываемых композиционных материалов были выбраны два типа олигомеров: эпоксидная смола ЭД-20, отверждаемая аминным отвердителем в массовом соотношении 1:10, карбаминоформальдегидная смола, отверждаемая 10-процентным водным раствором

сульфата аммония в соотношении 1:20. Для модификации олигомерных матриц и придания покрытиям высоких адгезионных и антифрикционных свойств использовались следующие наполнители: природный минерал трепел (диатомит), дисперсный кремний, малослойный графен и нанодисперсный фторопластовый порошок (УПТФЭ). Содержание модифицирующих добавок в композициях варьировалось и составляло 0,05 мас. %...5 мас. % от общей массы.

Первичное формирование опытных покрытий на пластинах из углеродистой стали осуществлялось по растворной технологии методом окунания в подготовленную жидкую композицию с последующей сушкой и термоотверждением. Для оценки свойств полученных композиционных покрытий был применен комплекс современных физико-химических и механических методов испытаний: ИК-спектроскопия, рентгенофазовый анализ. Адгезионную прочность определяли по ГОСТ 15140–78, испытания на ударную прочность оценивали согласно ГОСТ 4765–73. Определение влагопоглощения разработанных покрытий проводилось путем выдержки в дистиллированной воде при температуре  $(20 \pm 2)$  °С в течение 24 ч. По изменению массы образцов до и после выдержки рассчитывалось процентное влагопоглощение материала покрытия. Триботехнические испытания (определение коэффициента трения и линейной интенсивности изнашивания) проводились на машине трения по схеме «сфера – диск». Испытания проходили в условиях сухого трения при нормальном давлении от 0,1 до 1 МПа и скорости скольжения 0,1 м/с.

Согласно данным ИК-спектроскопии, не установлено образование химических связей между полимерной матрицей и частицами модифицирующих добавок во всех исследованных покрытиях. Метод рентгенофазового анализа показал появление новых дифракционных максимумов и увеличение их интенсивности с увеличением концентрации, что говорит о возможном влиянии используемых модификаторов на степень кристалличности полимерной матрицы.

Покрытия на основе эпоксидной матрицы показали хорошие результаты, получив оценки 1–2 балла в зависимости от типа и содержания наполнителя. В то же время все покрытия на карбамидоформальдегидной основе продемонстрировали крайне низкую адгезию к металлу (3–4 балла), хрупко разрушаясь и полностью отслаиваясь от подложки при нанесении решетки надрезов. Эпоксидные покрытия выдержали ударные испытания, хотя на части образцов наблюдалось образование трещин по периметру зоны максимального изгиба.

Карбамидоформальдегидные покрытия обладают повышенной хрупкостью: при ударе происходило их разрушение с полным отслаиванием не только в эпицентре, но и на значительном удалении от него. Все исследованные композиционные покрытия показали сравнительно высокую способность к водопоглощению, находящуюся в диапазоне 1 %...5 %. Наилучшие антифрикционные свойства продемонстрировали покрытия на эпоксидной матрице, содержащие от 0,1 мас. % до 0,5 мас. % малослойного графена.