УДК 538.958

**Адгезия ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ МИКРОСФЕР ДИОКСИДА КРЕМНИЯ и**

**эпоксидной смолы**

**А.Е. Воронков**, Р.А. **Бузиков, П.А.Григорьев**

*Амурский государственный университет, г. Благовещенск*

*voron-1998-va@mail.ru*

*Исследована адгезия покрытий на основе полых частиц диоксида кремния и эпоксидной смолы с концентрацией от 20 до 80 об.% методом надрезов и отрыва. Установлено, что малая концентрация связующего обусловливает высокую адгезию.*

**ADHESION OF COATINGS BASED ON MICROSPHERES OF SILICON DIOXIDE AND**

**EPOXY RESIN**

**A.E. Voronkov, R.A. Buzikov, P.A.Grigoriev**

*Amur State University, Blagoveshchensk*

*voron-1998-va@mail.ru*

*The adhesion of coatings based on hollow particles of silicon dioxide and epoxy resin with a concentration of 20 to 80 vol.% by incision and separation was investigated. It was found that a low concentration of binder causes high adhesion.*

Исследование адгезии покрытий является актуальным и важным направлением, поскольку адгезия играет ключевую роль в эффективности и долговечности различных покрытий. Адгезия определяет стойкость покрытия к механическим нагрузкам, химическим воздействиям, влаге, температурным изменениям и другим воздействиям окружающей среды. Анализ адгезии помогает выявить причины возникновения проблем с адгезией покрытий, таких как отслоение, трещины, деформации и прочие дефекты, и разработать способы предотвращения или устранения таких проблем. Микросферы диоксида кремния могут быть использованы для создания легких и прочных покрытий. Благодаря своей низкой плотности и высокой прочности, они могут быть добавлены в покрытие с минимальным увеличением его веса, но с одновременным повышением его механических свойств. Введение их как армирующие добавки, укрепляя структуру покрытия и повышая его стойкость к износу, царапинам и другим механическим воздействиям. Это особенно важно для покрытий, применяемых на поверхностях, которые подвержены интенсивному трению или агрессивной среде.

Целью настоящей работы было проведение исследований адгезионных характеристик покрытий на основе микросфер диоксида кремния и связующих из эпоксидной смолы.

Синтез полых частиц осуществлялся с применением шаблонного метода. В качестве шаблонов использовались полистирольные шарики. Для получения которых в 500 мл круглодонную колбу с тремя горлами заливали 300 мл этанола, затем добавляли 30 мл стирола и 0,12 г поливинилпирролидона, раствор смешивали со скоростью 300 об/мин. при температуре 80 ºС в течение 30 минут. Затем добавляли водный раствор аммония персульфата в соотношениях: 36 мл деионизированной воды и 2 г аммония персульфата для получения частиц полистирола микронных размеров. Далее смешивание происходило при температуре 75 ºС в течение 3 часов, до образования белого раствора. Раствор был дважды промыт 500 мл этанола, дважды центрифугирован при 2000 об/мин., после каждого этапа раствор подвергался ультразвуковому воздействию.

Для того, чтобы получить полые частицы диоксида кремния готовили раствор с добавлением полистирольных шариков, этанола, дистиллированной воды, раствора аммиака и тетраэтоксисилана в соотношениях к объему: 5:40:10:5:1. Затем полученный раствор перемешивали в течение 2 часов при температуре 50 ºС. После этого раствор трижды промывали этанолом и водой и центрифугировали при 3000 об/мин после каждого промывания. На последнем этапе его высушивали и подвергали трехстадийной термообработке при температуре 200, 300 и 500 ºС. На выходе был получен белый и мучнисто-сыпучий порошок.

Для проведения измерений адгезии методом решетчатых надрезов (ГОСТ 31149-2014) и механической отрывной адгезии (ГОСТ 27325) прибором NOVOTEST АЦ-1 были изготовлены образцы покрытий с различным содержанием эпоксидной смолы от 20 до 80 % по объему толщиной 200-250 нм. Покрытия наносились на пластины из листовой стали марки 08кп размером 60×150 мм и толщиной 1 мм. Устройство для нанесения надрезов типа АД-3 соответствовало ТУ 6-23-9-89. Механический адгезиметр Константа-АЦ предназначен для контроля величины адгезии лакокрасочных и других покрытий с основанием и между слоями, а также когезии материалов. В основу работы прибора положен принцип измерения удельного усилия отрыва покрытия от подложки, либо для когезионного разрушения покрытия. Цилиндрический тестовый образец приклеивается к испытуемому покрытию, участок покрытия вокруг образца подрезается до подложки, к образцу присоединяется прибор адгезиметр и с его помощью образец оттягивается от тестируемой поверхности. Сила, прилагаемая к образцу, увеличивается, пока образец не оторвется вместе с куском покрытия или не будет достигнута установленная заранее величина. Сила, которая потребовалась для отрыва образца, характеризует предел прочности покрытия на разрыв.

Испытания адгезии методом решетчатых надрезов показало, что покрытия с концентрацией от 20 до 60 об.% микросфер диоксида кремния имеют края надрезов полностью гладкие, нет признаков отслаивания ни в одном квадрате решетки, тога как для покрытий с содержание полых частиц 80 об.% имеют незначительное отслаивание покрытия в виде мелких чешуек в местах пересечения линий решетки, нарушение наблюдается не более, чем на 5 % поверхности решетки. Предел прочности покрытия на разрыв показал, что в композитах с содержанием 20 об.% микросфер σ равно 53 МПа, добавление микросфер с концентрацией от 40 до 60 об.% приводит к уменьшению предела прочности до 46-48 МПа, и при добавлении 80 об.% полых частиц диоксида кремния значения σ составляет 23 МПа.

Определяющую роль в адгезии имеют химическая природа адгезива и субстрата, то есть тип и количество функциональных групп на поверхности адгезива и субстрата и их способность к взаимодействия. Для повышения адгезионной прочности можно проводить модификацию частицами с развитой поверхностью, в результате появляются функциональные группы, способные усилению взаимодействия с субстратом. Активность пигментов зависят от начальных параметров и типа пленкообразующего. Многие покрытия, и те, что предназначаются для получения термоустойчивых композиций, содержат в себе аморфные полимеры в стеклообразном виде. Полимерные покрытия с наполнителями базирующимися на природных силикатах обусловливают снижение развития микроскопических трещин в наполненной полимерной матрице и возникновения ориентированных тонких пленок на поверхности наполнителя. Это является причиной изменения физических и механических свойств композиции из-за наполнителя и пигмента и изменению плотности упаковки макромолекул.

*Исследование выполнено при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, госзадание № 122082600014-6 (FZMU-2022-0007).*