

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации**

**Администрация Правительства Кузбасса**

**Научно-образовательный центр мирового уровня «Кузбасс-Донбасс»**

**Сибирский государственный индустриальный университет**

**МЕТАЛЛУРГИЯ:  
ТЕХНОЛОГИИ, ИННОВАЦИИ, КАЧЕСТВО  
*«Металлургия – 2024»***

***Труды***

***XXIV Международной научно-практической конференции***

***15– 17 октября 2024 г.***

**Новокузнецк**

**2024**

УДК 678.073 + 533.924

**ПЛАЗМЕННЫЕ ПОКРЫТИЯ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ СМЕСЕЙ  
НА ОСНОВЕ ПОРОШКОВОЙ ЭПОКСИДНОЙ СМОЛЫ**

**Юницкий А.Э., Цырлин М.И.**

*ЗАО «Струнные технологии», Минск, Беларусь, m.tsirlin@unitsky.com*

***Аннотация.** В работе исследован процесс структурирования порошковой эпоксидной композиции с полимерными добавками полиэтилентерефталата, полибутена и полиуретана при плазменном напылении с помощью термометрического метода и определения содержания гель-фракции. На основании выполненных исследований разработан состав эпоксидной композиций с добавкой порошкового полиуретана с содержанием гель-фракции до 93 % после 25 – 30 с. осаждения.*

***Ключевые слова:** плазменные покрытия, порошковые полимерные смеси, эпоксидные покрытия, отверждение покрытий.*

**PLASMA COATINGS FROM POLYMER MIXTURES  
BASED ON POWDERED EPOXY RESIN**

**Unitsky A.E., Tsyrlin M.I.**

**Abstract.** *The work investigated the process of structuring a powder epoxy composition with polymer additives of polyethylene terephthalate, polybutene and polyurethane during plasma spraying using the thermometric method, infrared spectroscopy, and determination of the content of the gel fraction. Based on the research performed, the composition of an epoxy composition with the addition of powdered polyurethane was developed with a gel fraction content of up to 93 % after 25 – 30 sec precipitation.*

**Keywords:** *plasma coatings, polymer powder mixtures, epoxy coatings, coating curing, vehicle painting.*

В настоящее время достаточно изучены и практически освоены многочисленные способы формирования полимерных покрытий; детально исследованы эксплуатационные свойства термопластичных и термореактивных материалов при традиционных способах их переработки.

Вместе с тем традиционные способы нанесения полимерных покрытий часто не удовлетворяют требованиям, предъявляемым к полифункциональным покрытиям (невысокая адгезионная прочность покрытий, длительность процесса пленкообразования, ограниченная площадь нанесенного покрытия).

С помощью низкотемпературной плазменной струи можно решить задачи нагрева и плавления частиц материала, обработки как материалов, так и нанесенных покрытий с целью их модифицирования, получения вместо жидкотекучих, экологически небезопасных, многослойных, композиционных покрытий на крупногабаритных изделиях сложной формы. Однако применение плазменной технологии для обработки дисперсных материалов относится, в основном, к области неорганических материалов [1], и в меньшей степени – к термопластичным материалам [2].

Настоящая работа посвящена разработке и исследованию композиционных покрытий из полимерных смесей на основе порошковой эпоксидной смолы, формируемых с использованием низкотемпературной плазмы.

В исследованиях использовалась порошковая эпоксидная смола Э-49П (ТУ 6-10-1592-90). В качестве отвердителя эпоксидной смолы ЭС был использован дициандиаמיד (ГОСТ 6988-73), количество которого составляло 1,2 от стехиометрического. Полимерными модифицирующими добавками служили термопласты: полиэтилентерефталат (ПЭТФ ТУ 6-06-С-199-86), полибутен (ПБ ТУ 6-08-413-75) и полиуретан (ПУ ТУ 6-05-397-77) содержание которых составляло 0,1–25 мас. %.

Покрытия наносили с помощью электродуговой плазменной установки УПУ-3Д. В качестве плазмообразующего газа использовался азот.

При изучении влияния полимерных добавок на процесс формирования плазменных эпоксидных покрытий установлено, что ввод ПУ активизирует процесс отверждения системы. Выход гель-фракции достигает 93 % (в отсутствие ПУ – менее 80 %). Содержание гель-фракции в зависимости от концентрации модификатора имеет экстремальный характер (рисунок 1). Установлено также, что ПЭТФ не оказывает существенного влияния на процесс отверждения, а ПБ ингибирует его. Повышение концентрации ПУ более 15 % отрицательно сказывается на структурированности системы.

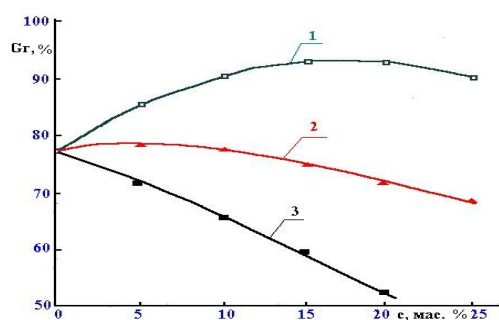


Рисунок 1 – Зависимость содержания гель-фракции в эпоксидном слое от состава и концентрации полимерной добавки: 1 – ПУ; 2 – ПЭТФ; 3 – ПБ

Результаты ДТА подтверждают высокую реакционную способность композиции ЭС-ПУ (рисунок 2). Наблюдается увеличение площади пика экзотермического эффекта, повышение конечной температуры отверждения, а также снижение температуры стеклования. Энергия активации реакции отверждения связующего понижается со 106 до 81 кДж/моль. О несовместимости и низкой реакционной способности свидетельствуют данные ДТА для композиций ЭС-ПЭТФ и ЭС-ПБ.

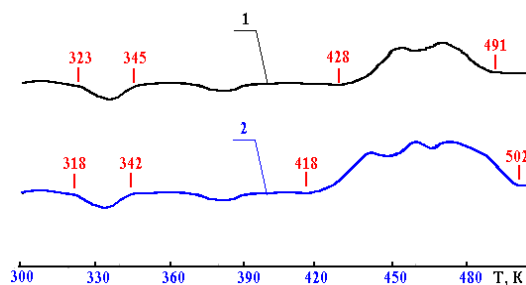


Рисунок 2 – Кривые ДТА эпоксидной композиции:  
1 – без модификатора; 2 – с 15 % ПУ

На основании выполненных исследований разработаны для плазменного напыления составы эпоксидно-дициандиамидовых композиций с добавками порошкового полиуретана. Содержание гель-фракции таких покрытий до 93 % после 25-30 с. осаждения. Аналогичную степень отверждения имеют электростатические покрытия, сформированные при температуре 423 – 453 К в течение 30 – 60 мин. [3]. Результаты полученных исследований открывают возможность окрашивания порошковыми композициями крупногабаритных изделий, например, транспортных средств, в т. ч. инновационного струнного транспорта uST, что невозможно традиционными методами порошкового напыления.

Таким образом, с помощью термометрического метода и оценки степени отверждения эпоксидных покрытий по содержания гель-золь-фракции установлена возможность регулирования процесса структурирования композиции, получения покрытий с высокой степенью отверждения (содержание гель-фракции до 93 %) путем ввода полимерных добавок полиуретана при плазменном напылении.

#### Библиографический список

1. Лясников В.Н. Плазменное напыление / В.Н. Лясников, А.В. Лясникова, О.А. Дударева – Саратов : Изд-во СГТУ им. Гагарина Ю.А., 2016.– 620 с.
2. Цырлин, М. И. Особенности структуры и свойств покрытий из эпоксид-

ных полимеров, модифицированных в процессе плазменного осаждения / М. И. Цырлин // Пластические массы. – 1998. – № 7. – С. 6 – 8.

3. Кухта Т. Н. Плёнкообразователи порошковых красок и их отвердители (обзор) / Т. Н. Кухта, Н. Р. Прокопчик // Труды БГТУ, 2018, серия 2, № 1. – С. 40 – 52.