

компактирования, который заключается в трудности подбора оптимального режима, при повышении давления и напряжения образцы имеют высокую плотность, снижение давления, в свою очередь, приводит к снижению сопротивления прессовки и ее сильному разогреву, что, в случае прессования урана, ведет к окислению порошка.

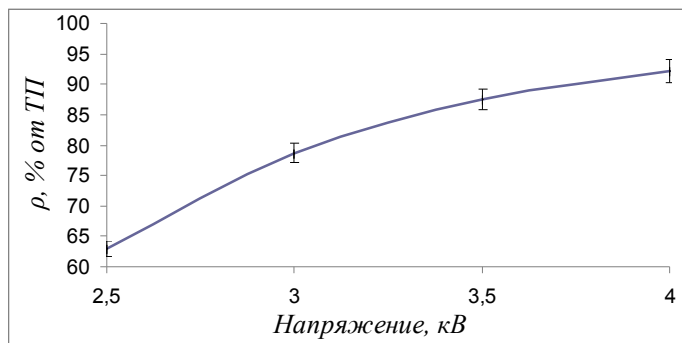


Рис. 4. Зависимость относительной плотности спрессованных компактов от прикладываемого напряжения

Делая предварительные выводы, можно заключить, что применение порошковой технологии изготовления топливных стержней или таблеток из порошков U–Zr или U–Mo позволяет получать компакты заданной плотности с соблюдением точных геометрических размеров. Предложенная технология может стать весьма перспективной для изготовления тепловыделяющих элементов для реакторов на быстрых нейтронах.

АНТИСТАТИЧЕСКИЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ ПОРОШКОВЫХ КРАСОК

С.В. Панин, д.т.н. проф.

С.Ю. Языков, аспирант

Томский политехнический университет, 634050, г.Томск, пр.Ленина,30,

тел.(3822)-444-555

E-mail: ivanov@tpu.ru

Эффективность защиты изделий с помощью лакокрасочных материалов традиционно оценивается сроком эксплуатации, в течение которого такое покрытие сохраняет заданный комплекс своих характеристик. Окрашивание порошковыми лакокрасочными материалами представляет собой одну из наиболее продвинутых технологий получения покрытий, отвечающих современным требованиям. В последнее время практически нет отрасли промышленности, где бы ни нашла применения эта технология.

Для работы в сложных внешних условиях (открытый космос, трубопроводы, работающие при значительных перепадах температур, и пр.), помимо выполнения защитной функции, покрытия, зачастую, должны обеспечивать выполнение функциональных свойств, одним из которых может быть электропроводность. Решение такой проблемы может быть достигнуто за счет введения в покрытие

порошков-наполнителей, придающих порошковым краскам такое свойство. Это позволит использовать их для снятия статического электричества с корпусов аппаратуры космических аппаратов. Таким образом, разработка составов и методов формирования защитных функциональных покрытий подобного класса с использованием модифицированных (наполненных) порошковых красок и порошковых технологий весьма актуально.

Методы исследования. В качестве полимерного связующего выбрана порошковая краска ОХТЭК-1 (глянцевая, для наружного применения, пр-во ООО «Технос-Охтэк», Россия), имеющая высокие антикоррозионные и физико-механические свойства. Наполнителем, обеспечивающим необходимую электропроводность, являлся технический углерод марок П-267Э, П-268Э. Объектом исследования служила антистатическая порошковая композиция, нанесенная на подложки, изготовленные из магниевых сплавов МА20, МЛ12, МА2-1, МЛ15.

Обработку порошковых смесей проводили с помощью планетарной мельницы МП 4/0,5 (ООО Техноцентр, г. Рыбинск) при суммарной частоте вращения стаканов 800 об/мин. Технический углерод и порошковая краска в необходимых количествах загружались в планетарную мельницу, где происходила их совместная механическая обработка (МО) в течение 20...80 мин с шагом по времени 10 мин. Влияние времени механической обработки на свойства порошковой смеси оценивали по данным измерения насыпной плотности. Для просева готовой порошковой композиции с целью удаления образовавшихся в процессе обработки крупных агломератов частиц использовалось вибросито с ячейей 160 мкм.

Далее проводили ситовый анализ смесей. Для напыления использовали фракцию дисперсностью менее 50 мкм.

Изготовленные композиции наносили электростатическим способом с помощью установки «Старт-50» на образцы из магниевых сплавов с оксихроматным подслоем (покрытием). Также в качестве подложек для получения сколов и последующего фрактографического анализа покрытий использовали образцы высокоуглеродистой стали. В процессе последующего запекания при температуре 180 °С в течение 15 мин были сформированы покрытия толщиной 50...80 мкм.

Структуру и свойства покрытий исследовали методом растровой электронной микроскопии на приборе Quanta 200 3D. Для анализа морфологии делали поперечный скол покрытий, нанесенных на стальную подложку.

Коррозионные испытания проводили в климатических камерах по режиму УХЛ2 (метод 13 ГОСТ 9.401-91). Климатические испытания проводили следующим образом. Образцы с покрытиями помещали в камеру влажности «Фаэtron» и выдерживали при температуре 40 ± 2 °С и относительной влажности 98 ± 2 % в течение 10 суток. Испытания на воздействие росы или инея с последующим его оттаиванием проводили во влагокамерах «Фаэtron» при относительной влажности 95 ± 3 % по следующим режимам: 2 ч при температуре минус 15 °С, затем 2 ч при температуре +15 °С, что составляло один цикл. Всего образцы были подвергнуты 5 циклам испытаний. Термовакuumные испытания проводили при давлении в камере $1,3 \cdot 10^{-3}$ Па по таким же режимам.

Результаты. Структура и свойства порошковых смесей. Целью совместной обработки порошковой краски и технического углерода в планетарной шаровой мельнице является решение проблемы введения максимального количества частиц

токопроводящего наполнителя (технического углерода П-267Э, П-268Э) при сохранении удовлетворительных механических свойств покрытия (прежде всего, адгезии). Содержание частиц наполнителя в смеси составляло 10, 12,5, 15 и 20 мас.%. При этом время обработки в планетарной мельнице варьировали, вследствие чего изменялась насыпная плотность исследуемых порошковых смесей (рис. 1, а).

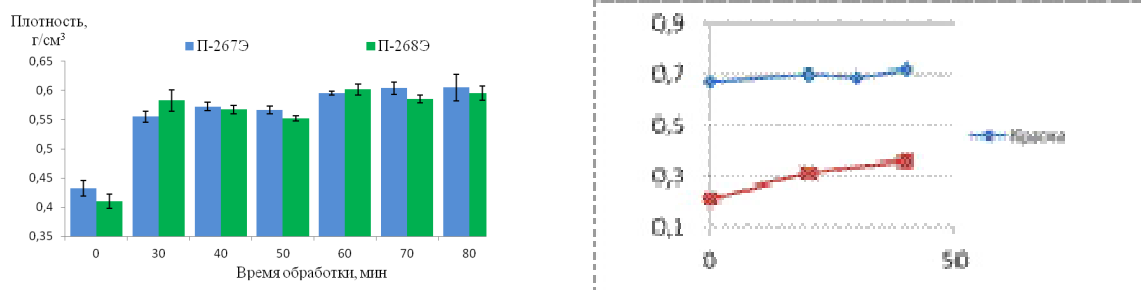


Рис. 1. Зависимость насыпной плотности смеси ПК+ТУ (а) и отдельно краски и ТУ (б) от времени обработки

Заметных отличий между порошковыми смесями, полученными с использованием двух различных марок технического углерода П-267Э от П-268Э, учитывая погрешность измерений, в этом и последующих экспериментах выявлено не было. По этой причине все дальнейшие исследования проводили с использованием в качестве наполнителя только технического углерода марки П-267.

На рис. 1, б приведены зависимости насыпной плотности порошковой краски и ТУ при обработке в планетарной мельнице в диапазоне времени 0...40 минут. Видно, что порошковая краска изначально имеет достаточно высокую насыпную плотность ($>0,65$ г/см³), поэтому логичным представляется результат, что этот показатель не очень заметно возрастает по мере увеличения времени последующей механической обработки, достигая $0,72$ г/см³ при 40 минутах воздействия. С другой стороны, технический углерод имеет очень низкую насыпную плотность ($0,2$ г/см³), поэтому при времени обработки в планетарной мельнице 40 минут данная величина возрастает почти в 2 раза ($0,37$ г/см³).

Для характеристики порошковой смеси перед ее последующим электростатическим напылением проведены ее исследования на растровом электронном микроскопе (рис. 2).

Структура и свойства покрытий. Из приготовленных и обработанных в ПШМ порошковых смесей были отсеяны три фракции (71...100 мкм, 50...71 мкм и менее 50 мкм), которые напыляли на подложки из магния и высокоуглеродистой стали. Степень придания покрытиям функциональных свойств оценивали путем измерения удельного объемного электрического сопротивления (УОЭС - рис. 3).

Покрытие на основе смеси ПК и ТУ (не подвергнутое механообработке в ПШМ) обладает минимальным сопротивлением, казалось бы, следует использовать именно его для формирования антистатических покрытий. Однако измерение адгезии такого покрытия к подложке из высокоуглеродистой стали показало, что необработанная в планетарной мельнице порошковая смесь имеет неудовлетворительный уровень адгезии (см. рис. 4, а). Таким образом, порошковая

смесь для нанесения защитного антистатического покрытия должна подвергаться МО, а содержание ТУ следует подбирать не только исходя из уровня электропроводности, но и характера формирующейся структуры. С этой целью были проведены исследования покрытий с помощью растрового электронного микроскопа (рис. 4, б, в).

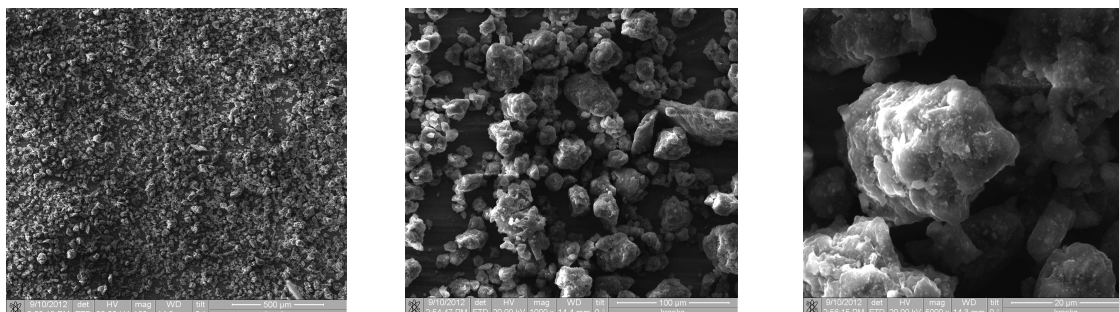


Рис. 2. Электронно-микроскопические изображения, полученные при различных увеличениях, смеси порошковой краски и 15 мас.% ТУ, подвергнутой механообработке в течение 40 минут

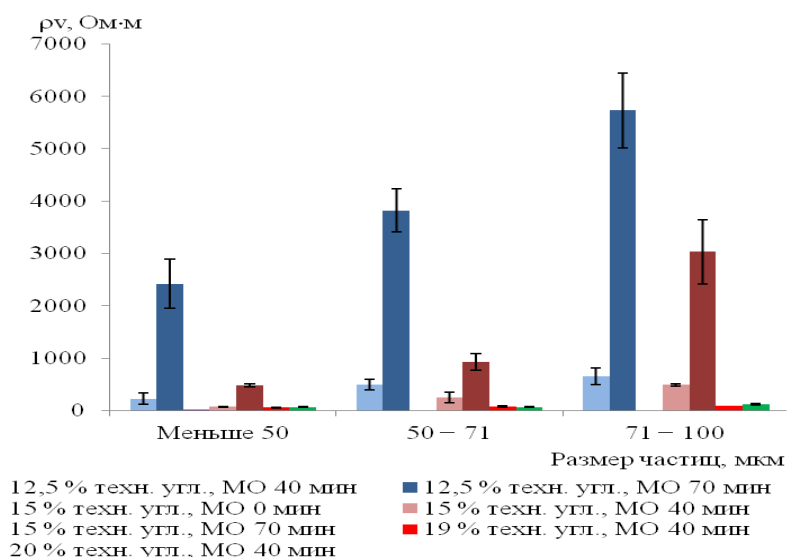


Рис. 3. Удельное объемное электрическое сопротивление покрытий

Несмотря на то, что увеличение содержания технического углерода в порошковой смеси (рис. 3) положительно влияет на электропроводность покрытий, повышение содержания ТУ снижает однородность покрытия и сопровождается повышением его пористости. Это может быть связано с тем, что наличие ТУ препятствует равномерному пленкообразованию. Таким образом, более однородной структурой, минимальной пористостью при приемлемом уровне электропроводности обладает покрытие на основе порошковой смеси, содержащей 12,5 мас. % технического углерода.

Далее были проведены климатические испытания покрытий, нанесенных из смеси, содержащей 12,5 % ТУ и обработанной в ПШМ в течение 40 минут.

Показано, что при соблюдении регламентированного режима напыления и толщине покрытия не менее 68 мкм признаков развития коррозии не наблюдалось. С другой стороны, дополнительно проведенные испытания магниевых образцов с покрытием, содержащим 20 мас.% ТУ по той же программе, показали наличие в них признаков коррозии.

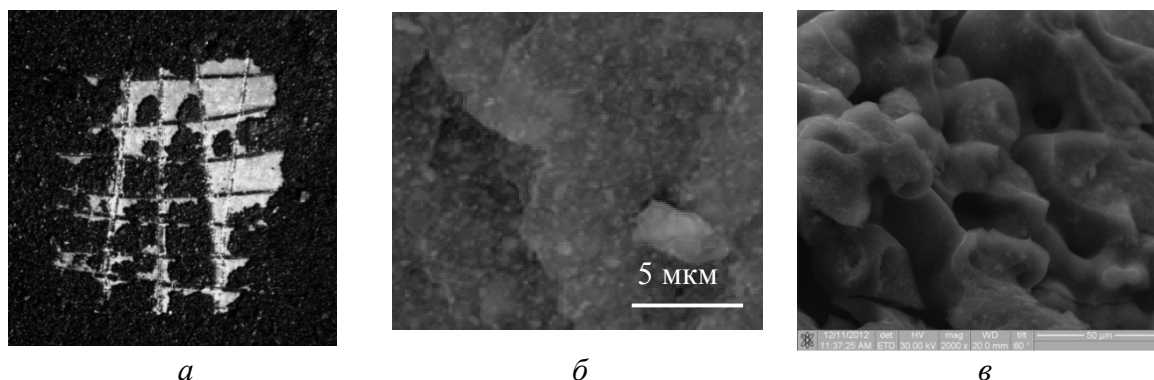


Рис. 4. Изображение фрагмента покрытия (содержание ТУ – 15 мас.%), подвергавшегося измерению адгезии методом решетчатого надреза (а) и микроизображение скола покрытия с содержанием технического углерода: б) 12,5 %, в) 20%.

Выводы

1. В результате комплекса испытаний, имитирующих различные атмосферные и механические воздействия, установлено, что разработанное покрытие с содержанием технического углерода 12,5 % и времени механообработки порошковой смеси в планетарной мельнице 40 минут обеспечивает формирование пленки покрытия толщиной 70 мкм, обладающего удовлетворительными функциональными и защитными свойствами.

2. Предложенный способ формирования покрытий на деталях из магниевых сплавов, сочетающий введение электропроводящего наполнителя, обработку порошковой смеси в планетарной шаровой мельнице и электростатическое напыление, может использоваться для снятия статического электричества с корпусов аппаратуры космических аппаратов, работающих в условиях открытого космоса.

Список литературы:

1. Порошковые краски. Технология покрытий: пер. с англ. под ред. проф. А.Д. Яковлева. СПб : ЗАО «Промкомплект», Химиздат, 2001.
2. Толмачева Д. Порошковые краски с металлическим эффектом. Особенности производства // Промышленная окраска. 2011. № 2. С. 33, 34.