

УДК 537.855

АНТИСТАТИЧЕСКИЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ ПОКРЫТИЯ ДЛЯ ЗАЩИТЫ МАГНИЕВЫХ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ ПОРОШКОВЫХ КРАСОК, ОБРАБОТАННЫХ В ПЛАНЕТАРНОЙ ШАРОВОЙ МЕЛЬНИЦЕ

Языков Сергей Юрьевич,

инженер-технолог Открытого акционерного общества
«Научно-производственный центр «Полюс»», 634041, г. Томск,
пр. Кирова, 56 б. E-mail: yazikov.sergey@gmail.com

Даммер Владислав Христианович,

канд. техн. наук, начальник отдела 28 Открытого акционерного общества
«Научно-производственный центр «Полюс»», 634041, г. Томск,
пр. Кирова, 56 б. E-mail: yazikov.sergey@gmail.com

Панин Сергей Викторович,

д-р техн. наук, профессор кафедры материаловедение в машиностроении
ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический
университет», Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, д. 30; заместитель
директора по научной работе Института физики прочности
и материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук,
г. Томск, пр. Академический, 2/4. E-mail: svp@ispms.tsc.ru

Овечкин Борис Борисович,

канд. техн. наук, доцент кафедры материаловедение в машиностроении
ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический
университет», Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, д. 30.
E-mail: ovechkinb@tpu.ru

Авторы исследовали возможность придания покрытию на основе порошковой краски свойства электропроводности за счет обработки в планетарной шаровой мельнице. При варьировании времени механообработки, а также содержания наполнителя исследовали свойства порошковых смесей, а также структуру и свойства покрытий, функциональность которых достигнута введением в порошковую краску электропроводящего наполнителя и последующей их совместной обработкой в планетарной мельнице. Важной задачей являлось оптимизировать структуру и свойства покрытий при сохранении исходных физико-механических свойств порошковой краски и придании ей принципиально новых функциональных качеств. 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 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. 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. Показано, что 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.

Ключевые слова:

Порошковая краска, технический углерод, электропроводимость, планетарная шаровая мельница, защитное покрытие.

Цель работы

Прогресс в современных отраслях техники (авиационной, ракетно-космической, электронной, автомобильной и др.) при соблюдении требований жесткой экономии энергоресурсов невозможен без применения в конструкциях наиболее легких, прочных и технологичных материалов [1–3]. Для сплавов на металлической основе это означает, в первую очередь, активное внедрение таких конструкционных материалов, как магниевые сплавы.

Эффективность защиты изделий с помощью лакокрасочных материалов традиционно оценивается сроком эксплуатации, в течение которого такое покрытие сохраняет заданный комплекс своих характеристик: противокоррозионные свойства, износостойкость, стойкость к химическим реагентам, декоративный вид и пр. Поэтому решающим фактором при выборе той или иной системы покрытия при выборе той или иной системы защиты окрашенный объект в конкретных условиях эксплуатации в течение требуемого периода времени. Окра-

шивание порошковыми лакокрасочными материалами представляет собой одну из наиболее продвинутых технологий получения покрытий, отвечающих современным требованиям [4, 5]. В последнее время практически нет отрасли промышленности, где бы ни нашла применения эта технология [6].

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 [7, 8]. Это позволит использовать их, в частности, для снятия статического электричества с корпусов аппаратуры космических аппаратов, работающих в условиях открытого космоса [9, 10]. Таким образом, разработка составов и методов формирования защитных функциональных покрытий подобного класса с использованием модифицированных (наполненных) порошковых красок и порошковых технологий весьма актуально [11, 12].

Существуют несколько способов введения наполнителей (пигментов) в краски, например экструзия, бондирование, сухое смешение и др. [13]. Первый из них состоит в смешении всех компонентов краски, включая токопроводящий наполнитель, и дальнейшем прохождении порошковой смеси через экструдер. Метод бондирования заключается в термическом скреплении частиц наполнителя с частицами краски, когда порошковую краску нагревают, а затем добавляют наполнитель для придания специальных функциональных свойств. Метод сухого смешения наиболее прост, доступен и экономичен. Он позволяет равномерно распределить токопроводящий наполнитель в полимерном связующем за счет того, что частицы наполнителя обволакивают полимер. Это обуславливает увеличение текучести, уменьшение слеживания и окомкования, а получаемая смесь хорошо заряжается при коронной зарядке и не сепарируется в процессе хранения. Однако наполнитель, выступая в роли прослойки, мешает слиянию расплавленных частиц при пленкообразовании, в результате чего может происходить растрескивание получаемого покрытия. Поэтому рекомендуется использовать его в содержании не выше 23 мас. % [14].

Поскольку проводником электрического тока в полимерной композиции являются именно и только частицы наполнителя, для решения такой задачи наиболее широко применяются технический углерод (ТУ), графит, углеродное волокно, порошки металлов, металлические усы [15] и пр. Однако проводящие покрытия с весьма высоким содержанием металлических порошков имеют очень высокую насыпную плотность, и поэтому их трудно нанести на подложку [16]. Одним из возможных пу-

тей решения данной проблемы является использование электропроводящих частиц технического углерода (ООО «Омсктехуглерод»), в частности марок П-267Э, П-268Э, удельное объемное сопротивление которых составляет 0,103...0,136 Ом·см. Их применение наиболее эффективно по причине невысокой стоимости, широкой доступности по сравнению с углеродными волокнами [17]. Кроме того, такой наполнитель не приводит к деградации полимера, как в случае использования металлических порошков [18].

Из литературных данных [15] известно, что содержание 10...15 % технического углерода в полимерной матрице уже достаточно для того, чтобы придать покрытию антистатические свойства. Однако для получения покрытий, проводящих электрический ток, концентрация углерода должна быть увеличена до 20...40 мас. %, что обусловлено необходимостью обеспечения непосредственного контакта между частицами наполнителя или доведения расстояния между ними до нескольких ангстрем [19].

В настоящей работе эффект придания покрытию свойства электропроводности достигался обработкой в быстроходном смесителе [20], в качестве которого использована планетарная шаровая мельница (ПШМ).

В ходе исследования ставились следующие цели:

- разработать и исследовать свойства порошковых смесей, а также структуру и свойства покрытий, электропроводность которых достигнута введением в порошковую краску электропроводящего наполнителя и последующей их совместной обработкой в планетарной мельнице;
- оптимизировать структуру и свойства покрытий при сохранении исходных физико-механических свойств порошковой краски и придании им принципиально новых функциональных качеств.

Методы исследования

В качестве полимерного связующего выбрана порошковая краска ОХТЭК-1 (ООО «Технос-Охтэк», Россия), имеющая высокие антикоррозионные и физико-механические свойства. Наполнителем, обеспечивающим необходимую электропроводность, являлся технический углерод марок П267Э, П-268Э. Объектом исследования служила антистатическая порошковая композиция, нанесенная на подложки, изготовленные из магниевых сплавов МА20, МЛ12, МА2–1, МЛ5.

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 (рис. 1) 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). Предварительно с поверхности подложек химическим способом удаляли окисную пленку. 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.



Рис. 1. Микроскопическое изображение электропроводящей смеси (МО 40 мин после выдержки в печи полимеризации в течение 3 мин)

Fig. 1. SEM-micrograph of electrically conductive blend (mechanical treatment during 40 min after exposure in a curing oven during 3 min)

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. Термовакуумные 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. 2, а). Видно, что в результате обработки порошковой смеси в течение 30 минут существенно возросла насыпная плотность от 0,43 до 0,57 г/см³. При последующем увеличении времени воздействия насыпная плотность повышалась в значительно меньшей степени (до ~0,6 г/см³), что, впрочем, не намного выше, чем при обработке во временном интервале 30–50 минут.

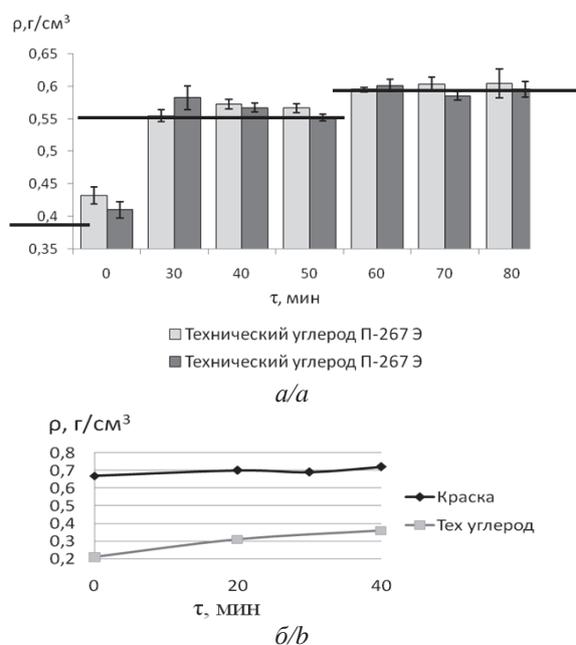


Рис. 2. Зависимость насыпной плотности смеси ПК+ТУ (а) и отдельно краски и ТУ (б) от времени обработки

Fig. 2. Dependence of packing density of «powder paint + Carbon black» mixture (а) and powder paint and Carbon black (б) separately on processing time

Таким образом, для обработки порошковой смеси в планетарной шаровой мельнице можно выделить два интервала времени (30–50 и 60–80 минут), обеспечивающих получение порошков с характерной «средней» насыпной плотностью. На основании данного результата было также выявлено наличие «порогового» значения времени обработки. По нашему мнению, это связано с тем, что происходит уменьшение размеров обрабатываемых

частиц вследствие интенсивных ударно-сдвиговых деформаций.

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 П267.

На рис. 2, 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 ($>0,65 \text{ г/см}^3$), поэтому логичным представляется результат, что этот показатель не очень заметно возрастает по мере увеличения времени последующей механической обработки, достигая $0,72 \text{ г/см}^3$ при 40 минутах воздействия. С другой стороны, технический углерод имеет очень низкую насыпную плотность ($0,2 \text{ г/см}^3$), поэтому при времени обработки в планетарной мельнице 40 минут данная величина возрастает почти в 2 раза ($0,37 \text{ г/см}^3$).

Приведенные данные являются весьма важными для понимания результатов ситового анализа порошковых смесей после обработки в планетарной шаровой мельнице (рис. 3). По представленным на рис. 3 данным можно сделать следующие обобщения:

- 1) Увеличение времени механообработки от 40 до 70 мин не сопровождается существенным изменением размера частиц, что, в целом, согласуется с результатами, представленными на рис. 2.
- 2) В результате МО наблюдается возникновение частиц размером больше 100 мкм, которые отсутствовали в исходных компонентах смеси. Причиной их появления, наиболее вероятно, является агломерирование частиц краски и наполнителя.

3) В результате обработки порошковой смеси в ПШМ количество частиц ТУ размером 71–100 мкм уменьшилось более чем в 8 раз.

4) Дисперсность основной фракции порошковой смеси (около 65 %) – менее 50 мкм, что практически не меняется при увеличении времени МО от 40 до 70 минут.

Таким образом, основным эффектом, наблюдаемым при обработке порошковых смесей, является измельчение частиц ТУ, а количество фракции, пригодной для электростатического напыления, составляет порядка 65 %. Кроме того, повышение времени обработки порошковой смеси выше 40 минут является нецелесообразным, по указанным выше причинам.

Для характеристики порошковой смеси перед ее последующим электростатическим напылением проведены ее исследования на растровом электронном микроскопе (рис. 4). Прежде всего, следует отметить, что исходная порошковая краска является неэлектропроводящей, поэтому наблюдать ее в колонне РЭМ без напыления тонкого проводящего слоя (с целью обеспечения его электропроводности, что является неотъемлемым условием его наблюдения в электронном микроскопе) не представляется возможным. После совместной обработки смеси краски и техуглерода в нанесении проводящей пленки необходимости не возникало, что связано именно с обретением свойств электропроводности.

На рис. 4 показаны частицы смеси после их просеивания через сито с ячейей $< 71 \text{ мкм}$. Видно, что порошковая смесь содержит агрегаты округлой формы со средним размером 70...50 мкм. Напомним, что высокий контраст на микрофотографиях свидетельствует об отсутствии накопления заряда на частицах порошковой смеси, что подтверждает придание смеси свойств электропроводности. Дополнительно были проведены измерения электросопротивления порошковой смеси до на-

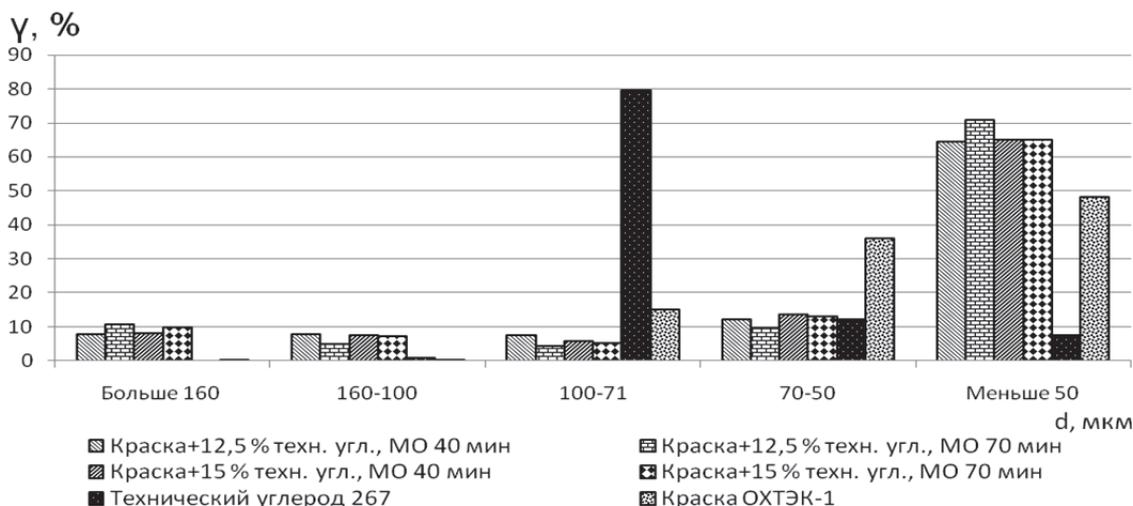


Рис. 3. Распределение частиц порошковых смесей по размеру на основе данных ситового анализа

Fig. 3. Size distribution of powder paint particles based on sieving test data

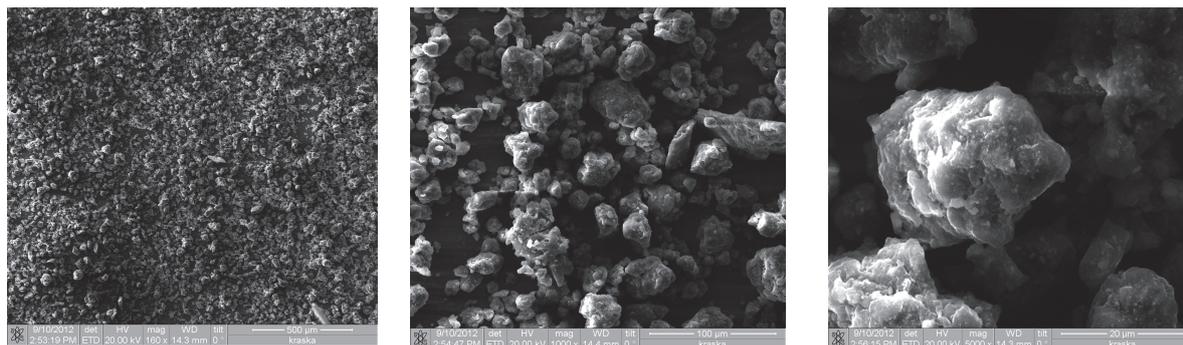


Рис. 4. Электронно-микроскопические изображения, полученные при различных увеличениях, смеси порошковой краски и 15 мас. % ТУ, подвергнутой механообработке в течение 40 минут

Fig. 4. Scanning electron microscope micrographs obtained at different magnification for the mixture of powder paint and 15 wt. % of carbon black which was mechanically treated during 40 minutes

пыления, показавшие, что его величина составляет единицы МОм. По нашему мнению это связано с тем, что близкого контакта между порошинками в свободно насыпанном состоянии нет. С другой стороны, сопротивление порошка технического углерода не превышало единиц Ом. Таким образом, последующее сравнение свойств напыленных покрытий проводили с учетом представленных данных о насыпной плотности и электросопротивлении порошковых смесей.

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. 5). Анализ полученных результатов показал, что:

- при любом содержании ТУ (в использованном в работе диапазоне) снижение размера фракции приводит к уменьшению сопротивления, причем эта зависимость имеет нелинейный характер;
- увеличение времени обработки порошковой смеси от 0 до 70 мин значительно повышает величину сопротивления для всех трех приведенных на диаграмме размеров фракций. Причем покрытие, сформированное из смеси ПК и ТУ, не подвергавшейся обработке в ПШМ, имеет УОЭС порядка 2 Ом м, в то время как обработка в мельнице в течение 40 минут повышает этот параметр до 70 Ом м, а при 70 минутах МО – уже 470 Ом м (для фракции, содержащей 15 мас. % ТУ, рис. 5);
- повышение содержания ТУ в покрытии (порошковой смеси, использовавшейся для напыления) приводит к увеличению проводимости;
- уровень удельного сопротивления, являющийся приемлемым с точки зрения удовлетворительного выполнения антистатической функций покрытия, обеспечивается либо использо-

ванием самой мелкой фракции (менее 50 мкм), либо повышением содержания ТУ.

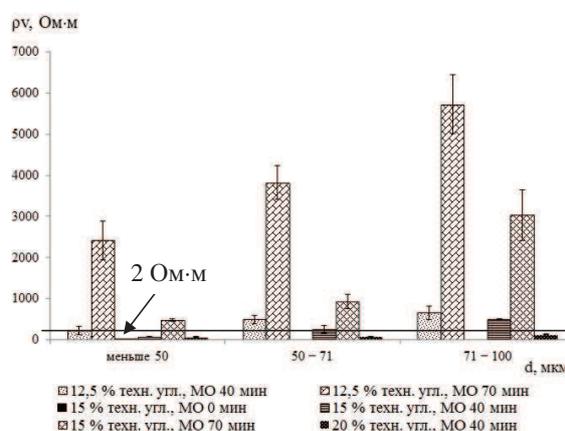


Рис. 5. Удельное объемное электрическое сопротивление покрытий

Fig. 5. Specific bulk resistance of coatings

Поскольку 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 (рис. 6, в). Более того, такое покрытие характеризуется высокой пористостью, что также неприемлемо для выполнения защитных функций. Таким образом, порошковая смесь для нанесения защитного антистатического покрытия должна подвергаться МО, а содержание ТУ следует подбирать исходя из уровня электропроводности, и характера формирующейся структуры. С этой целью были проведены исследования покрытий с помощью растрового электронного микроскопа (рис. 7).

Несмотря на то, что увеличение содержания технического углерода в порошковой смеси (рис. 5) положительно влияет на электропроводность покрытий, повышение содержания ТУ сни-

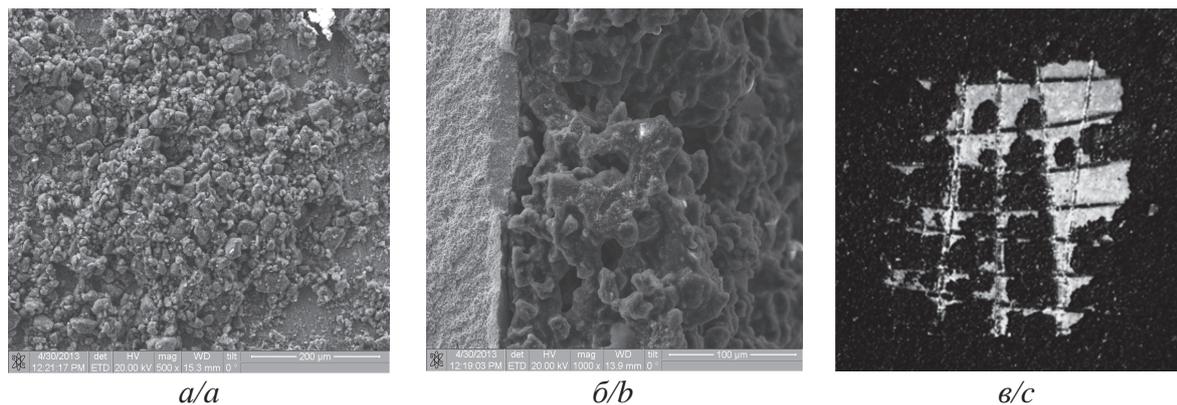


Рис. 6. РЭМ-изображения: порошковой смеси до напыления (а) и скола покрытия (б); и внешнего вида фрагмента покрытия, подвергнувшегося измерению адгезии методом решетчатого надреза (в); содержание ТУ – 15 мас. %; смесь не подвергалась обработке в ПШМ

Fig. 6. SEM-micrographs of: powder mixture before spraying (a) and coating spall (b); and appearance of coating fragment which was subjected to adhesion testing by the cross-cut method (c); Carbon black weight fraction was 15 %; the mixture was not treated in the Planetary ball mill

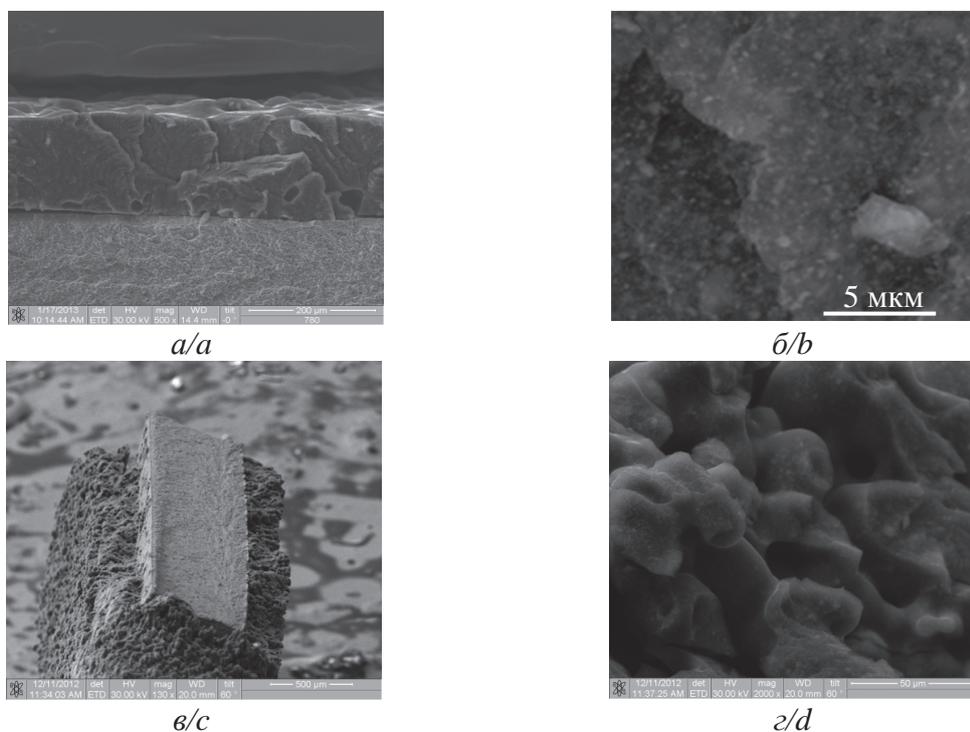


Рис. 7. Микроизображение скола покрытия с содержанием технического углерода (%): а, б) 12,5; в, г) 20; а, в) общий вид; б, г) структура

Fig. 7. SEM-micrographs illustrating the spalling of coating containing carbon black: a, b) 12,5 wt. %; c, d) 20 wt. %; a, c) general view; b, d) structure

жает однородность покрытия и сопровождается повышением его пористости (рис. 7). Это может быть связано с тем, что наличие ТУ препятствует равномерному пленкообразованию (рис. 7, в, г). Таким образом, более однородной структурой, минимальной пористостью (рис. 7, а, в) при приемлемом уровне электропроводности обладает покрытие на основе порошковой смеси, содержащей 12,5 мас. % технического углерода.

Проведено сравнение средней толщины покрытий, сформированных из порошковых смесей, под-

вергнутой обработке в ПШМ в течение 40 и 70 минут. Показано, что при времени совместной механической обработки порошковой краски и технического углерода 40 мин толщина покрытия составляла 68...83 мкм, в то время как при времени 70 мин она уменьшалась до 40...52 мкм. Это подтверждает полученные выше результаты о том, что растекание по подложке более мелкодисперсного порошка приводит к снижению толщины покрытия.

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.

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.

Работа выполнена при поддержке проекта РФФИ № 13-08-98068. Авторы выражают благодарность сотрудникам ИФПМ СО РАН Л.Р. Ивановой и М.А. Полтарину за помощь в подготовке порошковых смесей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Каблов Е.Н. Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года // *Авиационные материалы и технологии: Юбилейный науч.-техн. сб. (приложение к журналу «Авиационные материалы и технологии»)*. – М.: ВИАМ, 2012. – С. 7–17.
2. Антипов В.В. Стратегия развития титановых, магниевых, бериллиевых и алюминиевых сплавов // *Авиационные материалы и технологии: Юбилейный науч.-техн. сб. (приложение к журналу «Авиационные материалы и технологии»)*. – М.: ВИАМ, 2012. – С. 157–167.
3. Корнышева И.С., Волкова Е.Ф., Гончаренко Е.С., Мухина И.Ю. Перспективы применения магниевых и литевых алюминиевых сплавов // *Авиационные материалы и технологии: Юбилейный науч.-техн. сб. (приложение к журналу «Авиационные материалы и технологии»)*. – М.: ВИАМ, 2012. – С. 212–222.
4. Howell D.M. Powder coatings: The technology, formulation and application of powder coatings. – New York, John Wiley and Sons, 2000. – 361 p.
5. Брок Т., Гротеклаус М., Мишке П. Европейское руководство по лакокрасочным материалам и покрытиям. – М.: ООО «Пэйнт-Медиа», 2007. – 548 с.
6. Streitberger H.J., Dossel K.F. Automotive Paints and Coatings. – Weinheim, WILEY, 2008. – 493 p.
7. Brown L.W., Raghavan S., McGinnis A., Leal J.A. Electrostatic powder coating of electrically non-conducting substrates. Patent US, no. 6,270.853, 2001.
8. Gottschling P., Stacyra Z., Strid M. Antistatic powder coating compositions and their use. Patent US, no. 6,743.379, 2004.
9. Эпоксидные порошковые композиции с силикатными наночастицами различной морфологии / Г.В. Ваганов, В.Е. Юдин, Л.Н. Машляковский, Н.З. Евтюков, В.Ю. Елоховский, Е.М. Иванькова // *Лакокрасочные материалы и их применение*. – 2011. – № 11. – С. 37–41.
10. Corrosion protection of carbon steel by epoxy resin containing organically modified clay / T.X. Hang, T.A. True, T.H. Nam et al. // *Surface and Coating Technology*. – 2007. – V. 201. – № 16–17. – P. 7408–7415.
11. Kowalczyk K. Epoxy coatings with modified montmorillonites // *Progress in Organic Coatings*. – 2008. – V. 62. – № 4. – P. 425–429.
12. Стокозенко В.Н. Нанотехнологии сегодня и завтра // *Промышленная окраска*. – 2006. – № 3. – С. 22–25.
13. Порошковые краски. Технология покрытий / пер. с англ. под ред. проф. А.Д. Яковлева. – СПб.: Химиздат, 2001. – 256 с.
14. Толмачева Д. Порошковые краски с металлическим эффектом. Особенности производства // *Промышленная окраска*. – 2011. – № 2. – С. 33–34.
15. Матковский П.Е. и др. Термопластичные композиционные материалы // *Энциклопедия инженера-химика*. – 2011. – № 6. – С. 49–57.
16. Промышленные полимерные композиционные материалы / под ред. М. Ричардсона; пер. с англ. под ред. П.Г. Бабаевского. – М.: Химия, 1980. – 472 с.
17. Кац Г.С., Милевски Д.В. Наполнители для полимерных композиционных материалов. – М.: Химия, 1981. – 736 с.
18. Щибря Н.Г. и др. Антистатические декоративные покрытия на основе порошкового покрытия // *Лакокрасочные материалы и их применение*. – 1996. – № 12. – С. 19–20.
19. Гуль В.Е., Шенфиль Л.З. Электропроводящие полимерные композиции. – М.: Химия, 1985. – 240 с.
20. Смесь для антистатического порошкового покрытия и покрытия на ее основе: пат. Рос. Федерация. № 2228939; заявл. 01.12.2000; опубл. 10.01.2004, Бюл. № 20. – 76 с.

Поступила 06.03.2014 г.

UDC 537.855

ANTISTATIC COMPOSITE COATINGS FOR PROTECTING MAGNESIUM ALLOYS BASED ON POWDER PAINTS PROCESSED IN A PLANETARY BALL MILL

Sergey Yu. Yazykov,

Scientific production center «Polyus», 56 b, Kirov avenue, Tomsk, 634041, Russia. E-mail: yazykov.sergey@gmail.com

Vladislav Kh. Dammer,

Cand. Sc., Scientific production center «Polyus», 56 b, Kirov avenue, Tomsk, 634041, Russia. E-mail: yazykov.sergey@gmail.com

Sergey V. Panin,

Dr. Sc., National Research Tomsk Polytechnic University, 30, Lenin Avenue, Tomsk, 634050, Russia; Institute of Strength Physics and Materials Sciences of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, 2/4, Akademicheskii avenue, Tomsk, 634055, Russia. E-mail: svp@ispms.tsc.ru

Boris B. Ovechkin,

Cand. Sc., National Research Tomsk Polytechnic University, 30, Lenin Avenue, Tomsk, 634050, Russia. E-mail: ovechkin@tpu.ru

The authors have studied possibility of providing electrical conductivity properties to the coating based on powder paints by processing in a planetary ball mill. Changing the duration the mechanical activation as well as the weight fraction of the filler, the properties of powder mixtures were investigated as well as a structure and properties of coatings which functionality is achieved by adding the conductive filler into powder paint and their subsequent joint treatment in planetary ball mill.

The main aim of the study is to optimize the structure and properties of composite coatings while keeping initial physical and mechanical properties of powder paint and providing novel functional ones.

The methods used in the study. Processing of powder mixtures was carried out by employing planetary ball mill MP 4/0,5 (Techno-center Ltd., Rybinsk) with the total frequency of steel bowls rotation of 800 rpm. Carbon black and powder paint in necessary weight fractions were loaded into the bowls where their joint mechanical activation took place for 20...80 minutes with increment of the treatment time of 10 min. Mechanical activation time influence on powder mixture properties was evaluated by packing density measurement data.

The results. During the complex tests it was found that a designed mixture with the weight fraction of carbon black of 12,5 wt. % and the time of the mechanical activation in the planetary ball mill of 40 minutes provides the formation of a coating film with the thickness of 70 μm having satisfactory functional and protective properties. It is shown that the proposed method of deposition functional coating on the parts of magnesium alloys including adding of conductive filler, powder mixture treatment in the planetary ball mill and electrostatic spraying, may be used to sink static electricity from the spacecraft bodies operating in open space.

Key words:

Powder coating, Carbon black, electroconductivity, Planetary ball mill, protective coating.

The study was supported by RFBR grant № 13–08–98068. Authors appreciate L.R. Ivanova and M.A. Poltaranin, the employees of Institute of Strength Physics and Materials Sciences of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences for assistance in powder coating preparation.

REFERENCES

1. Kablov E.N. Strategicheskie napravleniya razvitiya materialov i tekhnologiy ikh pererabotki na period do 2030 goda [Strategic directions of developing materials and technologies of their processing up to 2030]. *Aviatsyonnye materialy i tekhnologii: Yubileyny nauchno-tekhnicheskii sbornik (prilozhenie k zhurnaly Aviatsyonnye materialy i tekhnologii)* [Aircraft Materials and Technologies. Jubilee Scientific-technical collection of papers (supplement to the journal «Aviation Materials and Technologies»)]. Moscow, VIAM Publ., 2012. pp. 7–17.
2. Antipov V.V. Strategiya razvitiya titanovykh, magniemykh, berilievyykh i aluminievyykh spлавov [The strategy of developing titanium, magnesium, beryllium and aluminum alloys]. *Aviatsyonnye materialy i tekhnologii: Yubileyny nauchno-tekhnicheskii sbornik (prilozhenie k zhurnaly Aviatsyonnye materialy i tekhnologii)* [Aircraft Materials and Technologies. Jubilee Scientific-technical collection of papers (supplement to the journal «Aviation Materials and Technologies»)]. Moscow, VIAM Publ., 2012. pp. 157–167.
3. Kornysheva I.S., Volkova E.F., Goncharenko E.S., Mukhina I.Yu. Perspektivy primeneniya magniemykh i liteynykh aluminievyykh spлавov [Prospects of application of magnesium and aluminum casting alloys] *Aviatsyonnye materialy i tekhnologii: Yubileyny nauchno-tekhnicheskii sbornik (prilozhenie k zhurnaly Aviatsyonnye materialy i tekhnologii)* [Aircraft Materials and Technologies. Jubilee Scientific-technical collection of papers (supplement to the journal «Aviation Materials and Technologies»)]. Moscow, VIAM Publ., 2012. pp. 212–222.
4. Howell D.M. *Powder coatings: The technology, formulation and application of powder coatings*. New Yourk, John Wiley and Sons, 2000. 361 p.

5. Brock T., Groteklaus M., Mishke P. *Evropeyskoe rukovodstvo po lakokrasochnym materialam i pokrytiyam* [European Guidelines for paints and coatings]. Moscow, Paint- Media publ., 2007. 548 p.
6. Streitberger H.J., Dossel K.F. *Automotive Paints and Coatings*. Weinheim, WILEY, 2008. 493 p.
7. Brown L.W., Raghavan S., McGinnis A., Leal J.A. *Electrostatic powder coating of electrically non-conducting substrates*. Patent US, no. 6,270.853, 2001.
8. Gottschling P., Stacyra Z., Strid M. *Antistatic powder coating compositions and their use*. Patent US, no. 6,743.379, 2004.
9. Vaganov G.V., Yudin V.E., Mashlyakovskiy L.N., Evtyukov N.Z., Elokhovskii V.Yu., Ivankova E.M. Epoksidnye poroshkovye kompozitsii s silikatnymi nanochastitsami razlichnoy morfologii [Epoxy powder compositions with silicate nanoparticles with different morphologies]. *Lakokrasochnye materialy i ikh primeneniye – Painting materials and their application*, 2011, no. 11, pp. 37–41.
10. Hang T.X., True T.A., Nam T.H. Corrosion protection of carbon steel by epoxy resin containing organically modified clay. *Surface and Coating Technology*, 2007, vol. 201, no. 16–17, pp. 7408–7415
11. Kowalczyk K. Epoxy coatings with modified montmorillonites. *Progress in Organic Coatings*, 2008, Vol. 62, no. 4, pp. 425–429.
12. Stokozenko V.N. Nanotekhnologii segodnya i zavtra. [Nanotechnology today and tomorrow]. *Promyshlennaya okraska – Industrial painting*, 2006, no. 3, pp. 22–25.
13. *Poroshkovye kraski. Tekhnologiya pokrytiy* [Powder paints. Coating technology] Translated from English. Ed. prof. A.D. Yakovlev. St. Petersburg, Himizdat Publ., 2001. 256 p.
14. Tolmacheva D. Poroshkovye kraski s metallicheskim efektom. Osobennosti proizvodstva [Powder coatings with metallic effect. Features of production]. *Promyshlennaya okraska – Industrial painting*, 2011, no. 2, pp. 33–34.
15. Matkovskiy P.E. Termoplastichnye kompozitsionnye materialy [Thermoplastic composite materials]. *Entsiklopediya inzhenera khimika – Encyclopedia of Chemical Engineering*, 2011, no. 6, pp. 49–57.
16. *Promyshlennye polimernye kompozitsionnye materialy* [Industrial Polymer composites]. Ed. M. Richardson. Translated from English with edition of P.G. Babaevskii. Moscow, Khimiya Publ., 1980. 472 p.
17. Kats G.S., Milewski D.B. *Napolniteli dlya polimernykh kompozitsionnykh materialov* [Fillers for polymeric composite materials]. Moscow, Khimiya Publ., 1981. 736 p.
18. Shchibrya N.G. Antistaticheskie dekorativnye pokrytiya na osnove poroshkovogo pokrytiya [Antistatic decorative coatings based on powder coating]. *Lakokrasochnye materialy i ikh primeneniye – Paint materials and their application*, 1996, no. 12, pp. 19–20.
19. Gul V.E., Shenfil L.Z. *Elektroprovodyashchie polimernye kompozitsii* [Conductive polymeric compositions]. Moscow, Khimiya Publ., 1985. 240 p.
20. Gottshling P., Stachira Z. *Smes dlya antistaticheskogo poroshkovogo pokrytiya i pokrytiya na ee osnove* [Mixture for powder coating and antistatic coatings based on it]. Patent RF, no. 2228939, 2004.

Received: 06 March 2014.