

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ПОКРЫТИЙ ПРИ ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ МЕТАЛЛИЗАЦИИ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

А.А. Зверев, А.М. Любченко, А.Д. Шляпин

Рассматривается электродуговая металлизация полимерных композиционных материалов. Даются рекомендации по совершенствованию технологии дуговой металлизации полимерных композиционных материалов и приводятся результаты исследований, полученных на стеклопластике на основе стеклоткани Т-10-14.

Ключевые слова: электродуговая металлизация, полимерные композиционные материалы.

Введение

В последние годы наблюдается значительный рост применения полимерных композиционных материалов (ПКМ) в ракетно-космической технике, в конструкциях планера летательных аппаратов [1]. Замена традиционно применяемых алюминиевых сплавов на ПКМ в ряде случаев требует решения задач по обеспечению электротехнических свойств поверхностей элементов из ПКМ для выравнивания электрического потенциала, молниезащиты, экранирования (обеспечения электромагнитной совместимости) [2, 3]. Крайне актуальной задачей в этой связи является формирование на поверхности композиционного материала возможно более тонкого металлического покрытия, позволяющего единым техническим решением выполнить все электротехнические требования к поверхности. В промышленности широко используются такие способы металлизации, как вакуумное напыление, химико-электролитическая металлизация и газо-термическое напыление жидкого металла. Наиболее перспективной технологией для металлизации ПКМ, позволяющей наносить металлическое покрытие на полимерные изделия без ограничения их габаритных разме-

ров, является технология газотермического напыления жидкого металла, в частности, её разновидность – дуговая металлизация. Технология дуговой металлизации экономически эффективна, обеспечивает высокую производительность, характеризуется небольшой трудоемкостью и позволяет наносить покрытия на крупногабаритные изделия.

Однако, несмотря на имеющиеся технологические возможности и преимущества, дуговая металлизация не получила широкого распространения для создания покрытий на изделиях из стеклопластиков и других полимерных композиционных материалов. Основным препятствием является опасность термической деструкции поверхности обрабатываемого материала и наличие высоких остаточных напряжений. Получаемые покрытия отличаются неравномерностью по толщине, высокой шероховатостью поверхности металлического слоя, слабым сцеплением напылённого металла с поверхностью.

Целью работы является совершенствование технологии электродуговой металлизации изделий из ПКМ для получения тонких, сплошных алюминиевых покрытий с высокой адгезией к полимерной основе без разрушения ее поверхностного слоя.

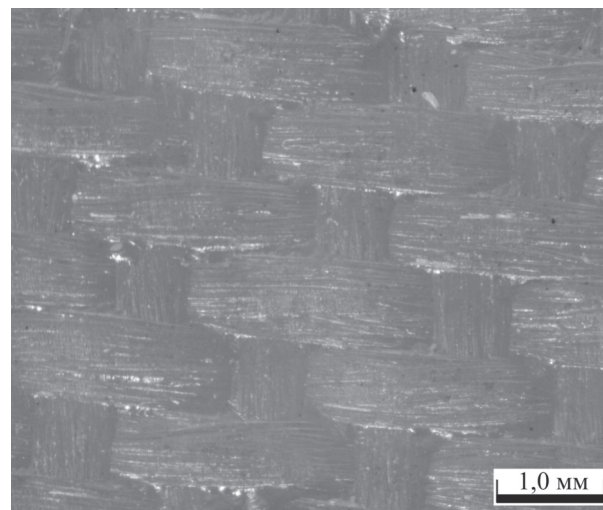
**Способ повышения качества
металлических покрытий,
наносимых методом
электродуговой металлизации**

В настоящей работе представлены результаты экспериментальных исследований по повышению качества металлических покрытий, наносимых на ПКМ по технологии электродуговой металлизации. Алюминиевое покрытие наносилось на стеклопластик на основе стеклоткани Т-10-14 на установке КДМ-3 в составе источника питания ТИМЕЗ-500 и ручного распылителя ЭМ-14М. Режим распыления задавался в соответствии с рекомендациями производителя оборудования – рабочее напряжение 25 В, давление распыляющего газа (воздуха) 0,55 МПа, скорость подачи проволоки 3 м/мин. Диаметр алюминиевой распыляемой проволоки – 1,6 мм, дистанция напыления – 200 мм. В результате нанесения покрытия наблюдались значительные деформации первоначально плоской поверхности образца ПКМ.

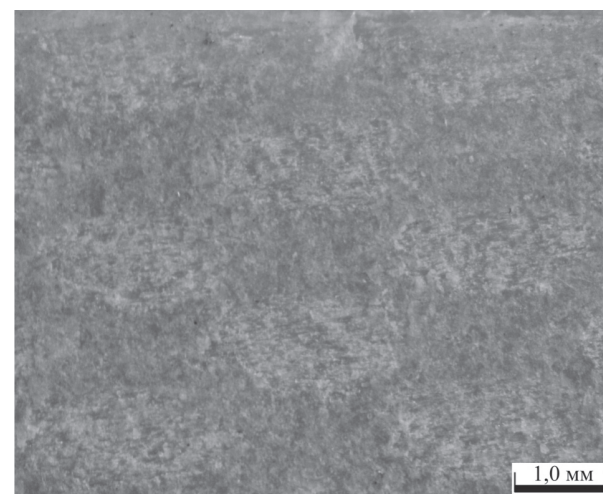
Для изучения структуры поверхности стеклопластика после напыления алюминия проводилось удаление покрытия методом химического растворения в 20% щелочном растворе. Данные производителя стеклопластика о стойкости в растворе едкого натра были подтверждены на образцах при воздействии указанного раствора в течение 5 часов. Изменений в структуре поверхности исходного стеклопластика не обнаружено. Структура поверхности стеклопластика до и после нанесения покрытия представлена на рис. 1. Состояние поверхности после нанесения покрытия с последующим его удалением травлением значительно отличается от исходного состояния. Можно отметить разрушение верхних слоёв полимерного связующего и оголение стеклянных волокон.

Микроструктура покрытия и материала основы, представленная на рис. 2, показывает, что в процессе нанесения покрытия, наряду с разрушением полимерного связующего и оголением волокон стекла, наблюдается образование микротрещин в приповерхностном слое стеклопластика под нанесённым покрытием, что является следствием обуславливаемых процессом напыления значительных термомеханических напряжений.

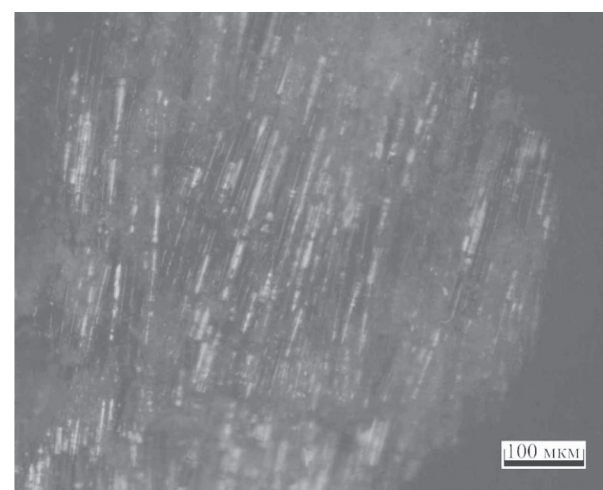
Можно предположить, что в значительной степени перечисленные недостатки покрытий обусловлены наличием в формирующем покрытие потоке распылённого материала частиц относительно большого размера и высокой



а



б

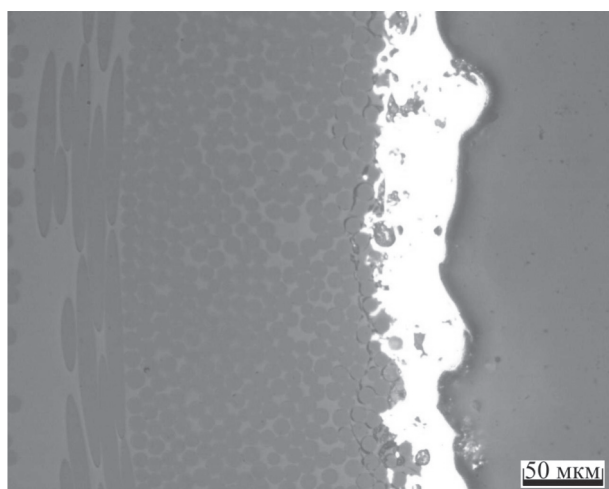


в

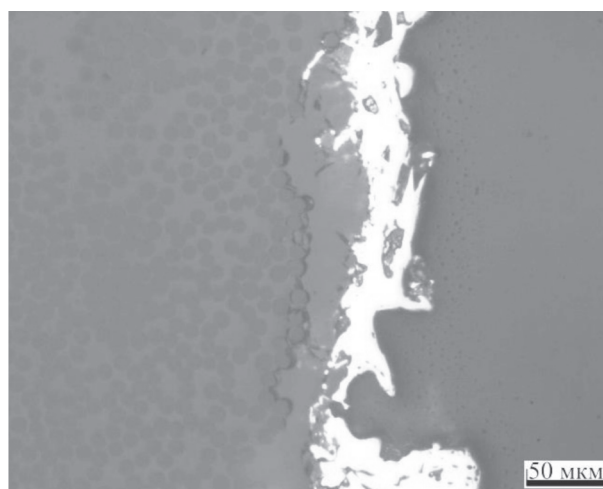
Рис. 1. Поверхность ПКМ:

а – до нанесения покрытия;

б и в – после нанесения покрытия на установке КДМ-3 с последующим его удалением травлением



а



б

Рис. 2. Алюминиевое покрытие на ПКМ, нанесённое на установке КДМ-3:

а – покрытие контактирует со стекловолокном; *б* – покрытие контактирует со связующим

температуры. Так, по данным прямых измерений, при распылении алюминия по типовой технологии дуговой металлизации размеры напыляемых частиц находятся в диапазоне 1–900 мкм [4].

К напыляемой поверхности частицы большего размера подлетают с более высокой температурой и запасом тепловой энергии, чем мелкие частицы, и их термическое воздействие на напыляемый материал более значительно. Термическое воздействие частиц различных размеров на напыляемую поверхность показано на рис. 3, представляющую поверхность листа бумаги, на которую производилось напыление алюминия по типовой технологии. Мелкие частицы расплавленного алюминия осаждаются на поверхность, тогда как крупные частицы отслаиваются, оставляя значительные прижоги.

По-видимому, при обеспечении условий формирования покрытия, исключающих наличие в потоке распылённого материала частиц

большого размера, может быть достигнуто более высокое качество покрытия на ПКМ.

Для уменьшения максимальных размеров частиц распыляемого материала и сужения диапазона их различий по массе была проведена модернизация технологического процесса дуговой металлизации, включающая активное управление величиной рабочего тока с помощью дополнительных балластных сопротивлений в цепи нагрузки.

Формирование покрытия на бумаге осуществлялось при реализации следующего режима распыления: рабочее напряжение 35 В, давление распыляющего газа (воздуха) 0,55 МПа, скорость подачи проволоки 1 м/мин (рис. 4). Распыляемый материал – алюминиевый сплав АД1, диаметр проволоки 1,6 мм, дистанция от распылителя 200–300 мм. Величина дополнительного токоограничивающего резистора в цепи нагрузки составляла 0,2 Ом.

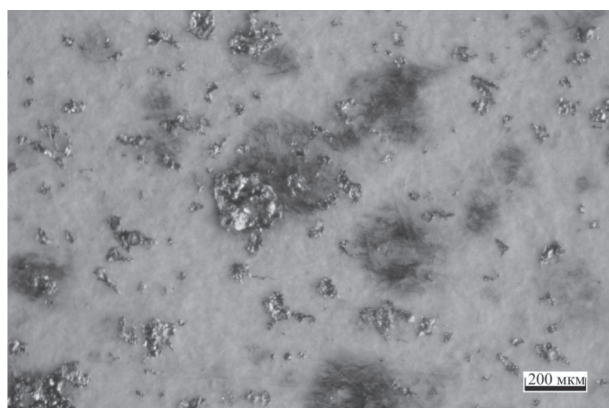


Рис. 3. Металлизация поверхности бумаги алюминием на установке КДМ-3 по типовой технологии

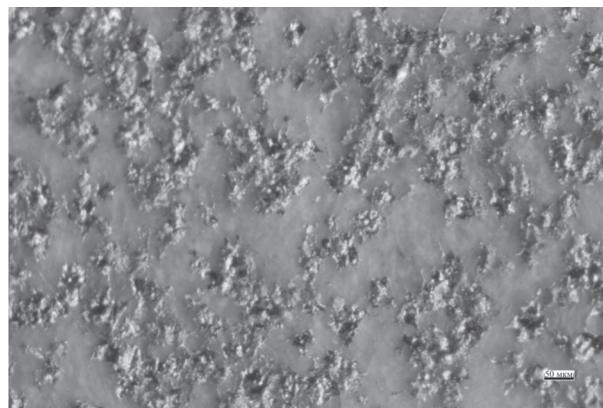


Рис. 4. Металлизация поверхности бумаги алюминием при активном управлении величиной рабочего тока

В процессе распыления образуются частицы расплавленного алюминия размерами менее 100 мкм, находящиеся в жидком состоянии, которые при ударе о напыляемую поверхность растекаются по ней, проникая в поры и обеспечивая механическое сцепление напыляемого материала с поверхностью (рис. 5). В отличие от результатов напыления по типовой технологии дуговой металлизации (см. рис. 3) следов прижогов от воздействия частиц напыляемого материала не наблюдается.

Дуговая металлизация стеклопластика на основе стеклоткани Т-10-14 проводилась при следующем режиме распыления: рабочее напряжение 35 В, давление распыляющего газа (воздуха) 0,55 МПа, скорость подачи проволоки 1 м/мин. Материал покрытия – алюминиевый сплав АД 1, диаметр проволоки 1,6 мм. Величина дополнительного токоограничивающего резистора в цепи нагрузки установки КДМ-3 составляла 0,2 Ом. Дистанция напыления – 200 мм.

Полученные образцы ПКМ с алюминиевым покрытием сохранили свою исходную форму, в состоянии поверхности ПКМ после снятия покрытия (стравливанием) изменений не наблюдается. Микроструктура покрытия на ПКМ представлена на рис. 6. Полученное покрытие не разрушило в процессе формирования внешний слой полимерного связующего и не контактирует со стекловолокнами, приповерхностные трещины отсутствуют. Экспресс-анализ прочности сцепления покрытия с основой, проведённый по методу надразов (ГОСТ 9.304-87), показал адгезию по высшему баллу.

Заключение

В работе представлена усовершенствованная технология электродуговой металлизации изделий из ПКМ. Образцы ПКМ с алюминиевым покрытием, полученным по разработанной технологии, сохранили свою исходную форму, в состоянии поверхности ПКМ после снятия покрытия стравливанием изменений не наблюдается. Покрытие не разрушило в процессе формирования внешний слой полимерного связующего и не контактирует со стекловолокнами, приповерхностные трещины отсутствуют. Экспресс-анализ прочности сцепления покрытия с основой, проведённый по методу надразов (ГОСТ 9.304-87) показал адгезию по высшему баллу.

Список литературы

1. Буланов И.М. Композиционные материалы – основа летательных аппаратов XXI века // Полет. 2004. № 3. С. 14–21.

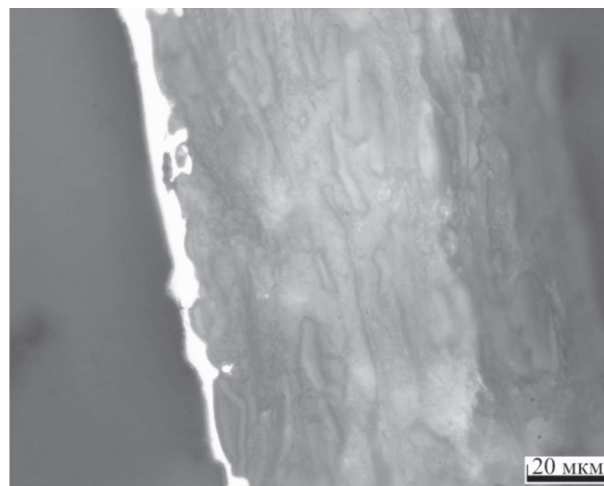


Рис. 5. Шлиф среза бумаги с алюминиевым покрытием, нанесённым по усовершенствованной технологии

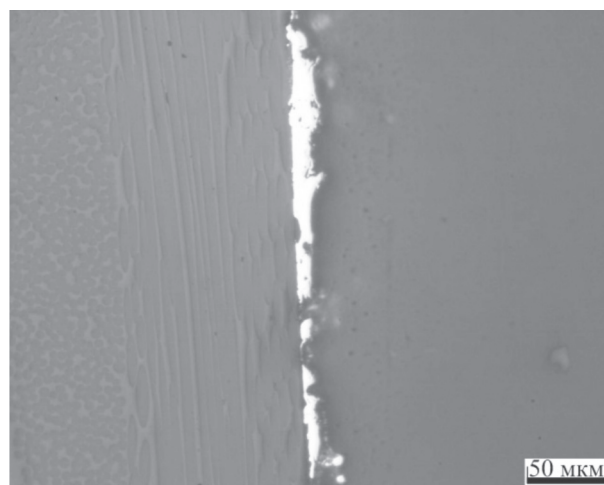


Рис. 6. Шлиф среза ПКМ с алюминиевым покрытием, нанесённым по усовершенствованной технологии электродугового напыления

2. Black S. Lightning Strike Protection Strategies For Composite Aircraft. Режим доступа: <http://www.compositesworld.com/articles/lightning-strike-protection-strategies-for-composite-aircraft>.
3. Szatkowski G. Lightning Strike Protection for Composite Aircraft, Nasa Tech Briefs, Режим доступа: <http://www.techbriefs.com/component/article/5358>.
4. Бороненков В.Н., Коробов Ю.С. Основы дуговой металлизации: монография. – Екатеринбург: Изд-во Уральского Университета, 2012. – 268 с.

Материал поступил в редакцию 12.03.14

**ЗВЕРЕВ
Андрей Аркадьевич**

E-mail: lam2@mail.msiu.ru
Тел.: (495) 974-06-79

Заведующий лабораторией лазерной и плазменной обработки материалов кафедры материаловедения и технологий конструкционных материалов МГИУ. Сфера научных интересов: лазерная и плазменная обработка материалов. Автор 5 научных статей и 5 изобретений.

**ЛЮБЧЕНКО
Александр Михайлович**

E-mail: lam2@mail.msiu.ru
Тел.: (495) 981-01-23

Кандидат технических наук, доцент кафедры материаловедения и технологий конструкционных материалов МГИУ. Сфера научных интересов: лазерная и плазменная обработка материалов. Автор 5 научных статей и 67 изобретений.

**ШЛЯПИН
Анатолий Дмитриевич**

E-mail: 6883412@mail.ru
Тел.: (499) 675-61-92

Доктор технических наук, заведующий кафедрой материаловедения и технологии конструкционных материалов МГИУ, заслуженный работник высшей школы РФ. Сфера научных интересов: материаловедение, физика металлов и композиционные материалы. Автор 7 монографий, 150 научных статей, более 50 изобретений.