

**УДК 669.018.95**

## **ПОЛУЧЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТАЛЛОМАТРИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ С УГЛЕРОДНЫМ НАПОЛНИТЕЛЕМ**

Чекин Роман Васильевич <sup>(1)</sup>, Панина Кира Сергеевна <sup>(2)</sup>

*Бакалавр 4 года <sup>(1)</sup>, аспирант 3 года <sup>(2)</sup>,  
кафедра «Материаловедение»*

*Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана*

*Научный руководитель: Ю. А. Курганова,  
доктор технических наук, профессор кафедры «Материаловедение»*

Композиционные материалы (КМ) очерчивают границы прогресса сегодняшнего дня и определяют завтрашний, имея ряд неоспоримых преимуществ по сравнению с традиционными материалами. В связи с этим интенсифицируются исследования методов получения качественных композиций. Металломатричные композиционные материалы (МКМ) рассматриваются в фокусе заменителей перспективных конструкционных металлов, выигрывая в физических, механических и эксплуатационных показателях [1].

При создании волокнистых КМ возможно реализовать наиболее высокие механические и специальные характеристики, что связано с большим упрочняющим эффектом от использования волокон.

Прочная граница раздела фаз способствует их синергетическому эффекту, обеспечивая перераспределение матрицей нагрузки между волокнами. При получении МКМ жидкофазными методами следует решить проблему совмещения компонентов и подобрать условия, обеспечивающие заданный уровень прочности по границе раздела. Для решения обозначенной проблемы требуется: а) обеспечить удовлетворительное смачивание матрицей армирующего компонента, так как процесс затрудняется образованием тугоплавких оксидных пленок; б) предотвратить реакционную способность наполнителя с металлом матрицы при высоких температурах подготовки [2].

Целью настоящей работы является получение МКМ и исследование их свойств. В качестве матриц выбраны широко применяемые материалы, главным образом для нужд авиационной и электротехнической промышленности соответственно [2,3]. Алюминий (в виде листов марки АД0) и медь (в виде пластины толщиной 1 мм, проволоки диаметрами 1 мм и 0,1 мм марки М1, в виде порошка марки ПМС-1). В роли наполнителя применяли непрерывные углеродные волокна в виде ткани с наиболее простой текстильной структурой (однонаправленная углеродная лента ЛУП).

Задачу совмещения предлагается решать путем металлизации углеродной составляющей. Методом «сидячей капли» и на основании металлографического анализа полученных образцов было установлено, что наиболее эффективным оказалось медное покрытие [4]. В работе [5] также отмечается, что меднение оказывает положительное воздействие на механические характеристики волокон.

В ходе исследований разработана комбинированная схема твердофазного диффузирования для системы Al-C, позволяющая добиться лучшей совместимости компонентов, чем при обычной пропитке. Металлизированные медью путем магнетронного распыления углеродные ленты прокладывали между пластинами алюминия и прижимали грузом. Нагрев сборки происходил в муфельной печи СНОЛ-3/11 с часовой выдержкой при температуре 750 °С, что выше точки ликвидус марки АД0

на

90 °С. После остывания повторно нагревали в течение 10 мин в муфельной печи СНОЛ-3/11 при 450 °С, затем переносили на гидравлический ручной пресс ПГР400, где создавали давление 100 бар усилием в 3,9 Тс. Давление сняли через 7 дней. К моменту окончания эксперимента манометр показывал 22 бар. Толщина образца уменьшилась с 7 до 6 мм, что составляет 14%. При рассмотрении структуры, представленной на рис.1, видно по всей границе раздела большое количество участков полной пропитки, наполнитель удалось значительно лучше внедрить в матрицу после реализации этапа прессования [6].

Для получения композитов с медной матрицей было принято решение использовать в качестве защитной среды древесный уголь, измельченный в порошок. Нагрев проводили в муфельной печи СНОЛ-3/11 с двухчасовой выдержкой при температуре 1100 °С. Наиболее результативным и технологичным оказалось применение в качестве матрицы порошковой меди, которая засыпалась с обеих сторон ленты. При рассмотрении структуры медноматричного композита, как на малом (рис.2), так и на большом (рис.3) увеличениях видно достижение пропитки матричной медью армирующего компонента.

Анализ свойств полученных композитов показал, что удельное электрическое сопротивление металла возрастает при армировании его волокнами, причем, осуществляя дополнительное прессование по разработанной схеме, оно обнаруживает ощутимый скачок на 29%. Модуль упругости увеличивается в 3 раза для алюминия, в 2 раза для меди, о чем свидетельствует рост напряжения при 0,1% деформации для алюмоматричных композитов – увеличивается тангенс угла наклона участка пропорциональности к оси деформаций. Плотность КМ на основе меди оказалась значительно ниже плотности матричного металла, плотность КМ на основе алюминия почти не изменилась.

Методы гальваники формируют покрытие в результате проникновения молекул осаждаемого металла в поверхностный слой подложки, что важно для достижения прочной границы раздела в композите. Для электролитического осаждения металла на углеродные волокна была сконструирована специальная установка. Меднение осуществляли в электролите на основе медного купороса. Выявили, что наиболее равномерное покрытие, обладающее хорошей адгезией с волокном, формируется при добавлении в электролит органической добавки в виде желатины. Осаждение производили 40 секунд при плотности тока  $\rho=0,286 \text{ A/cm}^2$  (рис.4). Планируется в дальнейшем получение образцов с использованием наполнителя, металлизированного гальваническим способом.

Таким образом, в ходе проделанной работы были решены проблемы обеспечения совместимости фаз путем металлизации углеродной составляющей, получены и исследованы МКМ, сконструирована установка для меднения углеродной ленты и отработан режим нанесения качественного покрытия.



Рис. 1. Al-композит после прессования,  $\times 200$

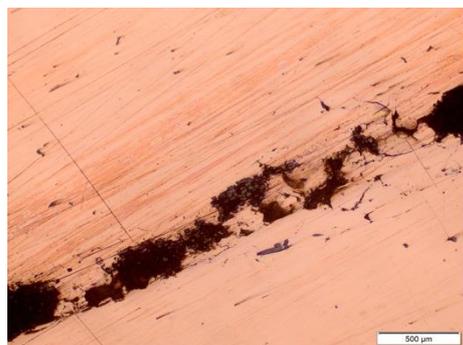


Рис. 2. Cu-композит,  $\times 50$

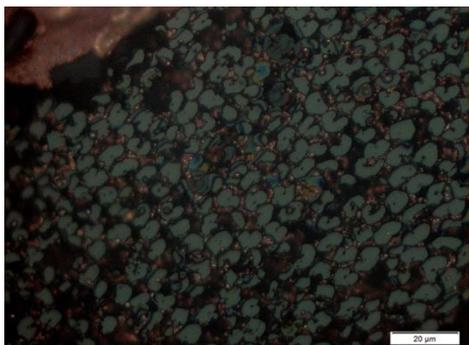


Рис. 3. Демонстрация пропитки в Si-композите,  $\times 1000$



Рис. 4. Углеродная лента ЛУП с нанесенным гальваническим покрытием меди,  $\times 100$

### Литература

1. Фридляндер, И.Н. Композиционные материалы с металлической матрицей / И.Н. Фридляндер, К.И.Портной, В.Ф. Строганова, С.Е. Салибеков, В.М.Чубаров // *Авиационная промышленность*. – 1984. – № 5. – С. 5-7.
2. Скачков, В. А. Углерод-алюминивые композиционные материалы: технология получения, структура, свойства / В. А. Скачков, А. Г. Бережная, С. С. Сергиенко // *Международная научная конференция «Материалы для работы в экстремальных условиях – 6»*, 1-2 декабря 2016 года, г. Киев. – Киев: КПИ им. Игоря Сикорского, 2016. – С. 122-126. – Библиогр.: 6 назв.
3. Ларионова, Т. В. Структура и твердость композиционных материалов медь-углерод / Т.В. Ларионова, Н.В. Маркина, Н.В. Петров, О.С. Шаповалов, А.А. Афанасьев, Т.С. Кольцова // *Вестник Новгородского государственного университета*. – 2012. – № 68. – С. 15-19.
4. Чекин, Р. В. Перспективность разработки композиционных материалов системы "алюминий-углерод". [Электронный ресурс] // *Всероссийская научно-техническая конференция «Студенческая научная весна: Машиностроительные технологии»: материалы конференции*, 6-9 апреля, 2021, Москва, МГТУ им. Н.Э.Баумана. – М.: ООО «КванторФорм», 2021. – URL: [studvesna.ru/go=articles&id=3132](http://studvesna.ru/go=articles&id=3132) (дата обращения: 12.03.2022)
5. Нелюб, В. А. Оценка механических характеристик углеродных лент после нанесения на их поверхность металлических покрытий / В. А. Нелюб // *Современные наукоемкие технологии*. – 2018. – № 12-2. – С. 330-336.
6. Чекин, Р. В. Анализ возможности получения металломатричных композиционных материалов с углеродным наполнителем / Р. В. Чекин // *Будущее машиностроения России : четырнадцатая Всероссийская конференция молодых ученых и специалистов (с международным участием) : сборник докладов : в 2 т., Москва, 21–24 сентября 2021 года / Союз машиностроителей России, Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)*. – Москва: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2021.