

стовой намотки получали образцы веретенообразной формы. Для повышения прочности использовали комбинированный метод намотки, сочетающий попеременное использование параллельной и крестовой намоток. Контролировали расход волокна  $m_{f0}$ .

Полученные заготовки сушили при комнатной температуре в течение суток, а затем отжигали на воздухе при температуре 200°C в течение 1 часа для отверждения связующего. Пиролиз связующего проводили в вакууме при температуре 1300 °С. Скорость нагрева составляла 5–7 °С/мин, выдержка при максимальной температуре – 15 минут.

Массовую долю связующего определяли по формуле

$$\eta_b = 1 - (m_{f1} / m_1),$$

где  $m_{f1}$  – масса волокна в образце после пиролиза ( $m_{f1} = 0,98 m_{f0}$ ),  
 $m_1$  – масса образца после пиролиза.

Открытую пористость определяли путем гидростатического взвешивания образцов, пропитанных водой (пропитка в течение 12 часов при остаточном давлении 0,1 бар), их сушки до постоянной массы, парафинирования и повторного гидростатического взвешивания.

Таким образом, были получены углеродные препреги типа «втулка», характеризующиеся содержанием пироуглеродной связки 7–11 % и открытой пористостью 36 – 41 %, пригодные для дальнейшей пропитки целевыми компонентами.

### Литература

1. Carbon fibers and their composites / P. Morgan.– CRC Press, 2005.
2. Основы деформирования проволочных тел намотки /Е.Е.Петюшик, О.П.Реут, А.Ч.Якубовский. – Мн.: УП «Технопринт», 2003.

УДК 621.762.669.2

### **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ В РЕАКЦИЯХ *in-situ* ТУГОПЛАВКИХ НАНОРАЗМЕРНЫХ МОДИФИКАТОРОВ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ЛИТЫХ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ЭВТЕКТИЧЕСКИХ СИЛУМИНОВ**

А.И. Комаров, канд. техн. наук, В.И. Комарова, канд. физ.-мат. наук,  
В.Т. Сеньюль, канд. техн. наук  
ГНУ "Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси"  
(г. Минск, Республика Беларусь)

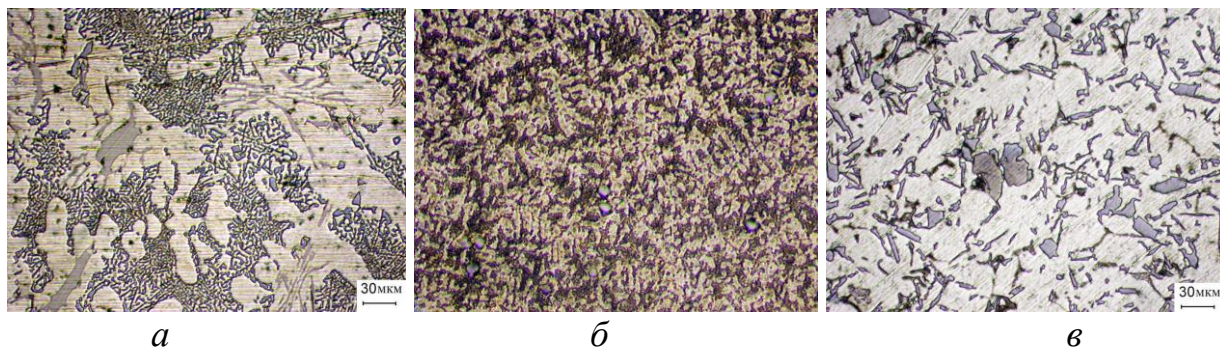
Среди многообразия конструкционных алюминиевых сплавов, применяемых в машиностроении, в последние годы особый интерес привлекают эвтектические и заэвтектические силумины, широко используемые для изготовления деталей ДВС. Обладая низким удельным весом, технологичностью эти сплавы из-за низких твердости и износостойкости, повышенной склонности к навола-

квиванию не обеспечивают требований, предъявляемых к материалам триботехнического назначения. Проблема усугубляется еще и тем, что в качестве материалов для литья в последнее время используются вторичные кремнийсодержащие алюминиевые сплавы. Как правило, в этом случае структура эвтектических силуминов характеризуется грубым дендритным строением  $\alpha$ -фазы, игольчатой формой частиц эвтектического кремния, крупными включениями железосодержащих фаз. К перспективному направлению повышения свойств силуминов относится создание на их основе путем армирования тугоплавкими керамическими наполнителями алюмоматричных композиционных материалов (КМ). В качестве таких наполнителей наиболее часто используются SiC, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, B<sub>4</sub>C, TiC с размером частиц 20–60 мкм, а в ряде случаев значительно превышающем этот диапазон. При обеспечении повышенных триботехнических и прочностных свойств создаваемых КМ по сравнению с базовыми сплавами, эффект модифицирующего воздействия таких частиц на структуру силуминов, судя по имеющимся данным, незначительный.

Цель работы – получение наноразмерных тугоплавких модификаторов непосредственно в химических реакциях в процессе специальной термической обработки исходных микро- и ультрадисперсных порошков, использование полученных нанонаполнителей для армирования эвтектических силуминов.

В качестве базы при разработке КМ использовали эвтектический силумин АК12М2МгН, а исходных наполнителей – микродисперсный порошок (МДП) гексагонального нитрида бора (ГНБ) с размером частиц 5–20 мкм и ультрадисперсный (УДП) порошок SiO<sub>2</sub> с размером частиц 0,6–1,0 мкм. Для обеспечения смачивания частиц этих порошковых модификаторов алюминий–кремниевым расплавом осуществляли их легирование элементами, обладающими химическим сродством к алюминиевой матрице. Исследование фазовых и структурных превращений в модификаторах и отливках КМ проводили методами рентгеноструктурного анализа, металлографии и сканирующей микроскопии.

Результаты металлографического исследования отливок показали, что микроструктура исходного силумина характеризуется дендритным (50–500 мкм) строением, его фазовый состав представлен  $\alpha$ -фазой, Si,  $\theta$ -фазой (CuAl<sub>2</sub>), интерметаллидом Al<sub>6</sub>Cu<sub>3</sub>Ni, крупными (15–40 мкм) включениями фазы AlFeMnSi (рисунок 1, а).



**Рисунок 1 – Микроструктуры сплава АК12М2МгН (а) и композитов КМ1 (б), КМ2 (в)**

Армирование силумина наполнителем  $\text{BN}_{\text{Al}}$ , легированного алюминием, оказывает значительное модифицирующее воздействие на его структуру (рисунок 1, б). Это проявляется в диспергировании  $\alpha$ -фазы и эвтектики, равноосности фаз  $\text{Al}_8\text{Cu}_3\text{Ni}$ ,  $\text{AlFeMnSi}$ , их равномерного распределения в композите КМ1. Данные РФА свидетельствуют о наличии в структуре КМ1, помимо этих фаз, наноразмерных частиц  $\text{AlN}$  и  $\text{AlB}_2$ , образованных вследствие реакций *in-situ* на стадиях изготовления модификатора  $\text{BN}_{\text{Al}}$  и отливок этого композита. Последнее приводит к возрастанию твердости  $\alpha$ -фазы силумина до 1110 МПа, эвтектики – до 1470 МПа, равных для исходного состояния 770 и 1110 МПа соответственно.

Значимый модифицирующий эффект структуры силумина достигнут его армированием УДП  $\text{SiO}_2$ , легированным В и Ti. В КМ2 образуется фактически структура, характерная для заэвтектических силуминов (рисунок 1, в) и включающая наночастицы  $\text{TiB}_2$ ,  $\text{AlB}_2$  и  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ , непосредственно сформированные на стадиях получения наполнителя и композита. Установлено, что износостойкость разработанных композитов в 1,9–2,5 раз выше при одновременном снижении коэффициента трения в 1,5–4,5 раз по сравнению с не модифицированным силумином АК12М2МгН.

УДК 621.762.4

## РЕГУЛИРОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОРИСТЫХ ПРОНИЦАЕМЫХ ИЗДЕЛИЙ НА ОСНОВЕ КВАРЦЕВОГО ПЕСКА

Е.Е. Петюшик<sup>1</sup> д-р. техн. наук, проф., А.А. Дробыш<sup>2</sup> канд. техн. наук

<sup>1</sup>ГНУ «Институт порошковой металлургии»

<sup>2</sup>Белорусский национальный технический университет  
(г. Минск, Республика Беларусь)

Использование природного сырья в производстве пористых проницаемых материалов является одним из эффективных способов получения конкурентоспособных пористых проницаемых изделий (ППИ). Отечественная энерго- и ресурсосберегающая технология получения ППИ однократным радиальным прессованием шихты на основе кварцевого песка и последующим спеканием прессовок в форме труб известна [1].

Повышение конкурентоспособности ППИ осуществляется посредством расширения номенклатуры изделий, варьирования структурными характеристиками и эксплуатационными свойствами. Одним из методов решения такой задачи является получение многослойных ППИ. Следует отметить, что данные об изготовлении многослойных ППИ на основе кварцевого песка отсутствуют, что, наряду с вышесказанным, определяет перспективным установление воз-