

ном микрочастиц в 2–7 раз превосходит массу потока ионов, формирующего покрытие.

Итак, катодное пятно вакуумной дуги графита является мощным источником микрочастиц графита и потока ионов углерода. Этот комплексный источник был нами использован для нанесения графитовых покрытий на стружечный материал системы Al–Cu–Mg–Si. Результаты экспериментальных исследований показывают, что это позволяет достаточно легко равномерно распределить включения графита по объему получаемого композиционного материала и с точностью до 0,1 мас.% регулировать содержание графита в материале. В целом, такой метод получения композиций алюминиевый сплав–графит экономически целесообразен при содержании графита не более 5 мас.%.

Таким образом, проведенные исследования дали возможность разработать основы технологии качественного введения добавок графита в композиционные антифрикционные материалы на основе алюминиевых сплавов.

### Литература

1. Пат. 643РБ МКИ С 22 С 1/03, С 22 С 21/00, В 22 F 1/00 Композиционный материал и способ его получения /А.Т. Волочко, О.Е. Жданович, А.П. Ласковнев и др. Заявл. 09.12.1992. Опубл. 30.06.95.

2. Овчинников В.В., Ласковнев А.П., Волочко А.Т., Макарова Ж.Е. //Литье и металлургия. 2000. №1. С.45–46.

3. Мрочек Ж.А., Эйзнер Б.А., Марков Г.В. Основы технологии формирования многокомпонентных вакуумных электродуговых покрытий. Мн: Наука и техника, 1991. – 95с.

4. Вакуумные дуги / Под ред. Дж. Лафферти. М.: Наука, 1982. – 345с.

5. Любимов Г.А., Раховский //Успехи физических наук. 1978. Т.125, №4. С. 665–706.

6. Раховский В.И. Физические основы коммутации электрического тока в вакууме. М.: Наука, 1970. – 536 с.

7. Бейлис И.И., Зекцер М. П., Любимов Г.А. // Журнал технической физики. 1988. Т.58, №10. С.1861–1870.

8. Handbook of Vacuum Arc: Science and Technology /Edited by R. L. Voxman, D. R. Sanders, and Ph. J. Martin. New Jersey, 1995. –765 p.

9. Кессаев И.Г. Катодные процессы электрической дуги. М.: Наука, 1968. – 235 с.

УДК 621.763

### ПОЛУЧЕНИЕ ПРЕПРЕГОВ НА ОСНОВЕ УГЛЕРОДНОГО ВОЛОКНА И ПИРОЛИЗОВАННЫХ БАКЕЛИТОВЫХ СВЯЗОК МЕТОДОМ НАМОТКИ

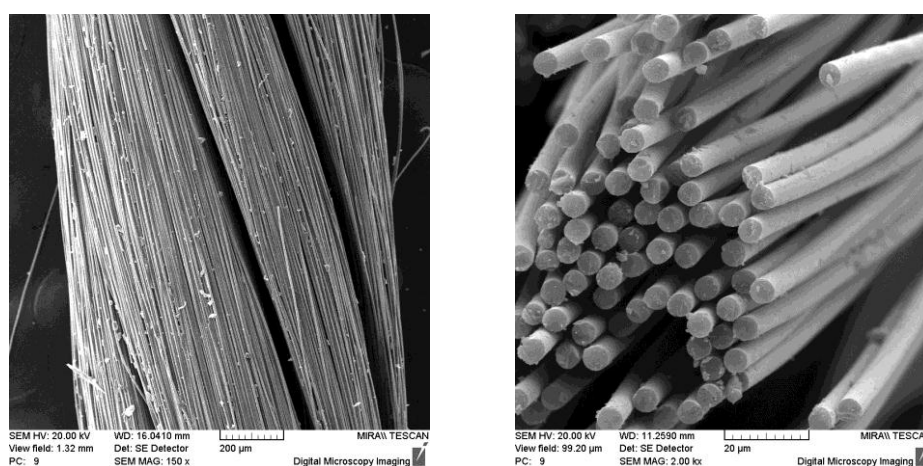
А.Ф. Ильющенко<sup>1,2</sup> д-р техн. наук, проф., Е.Е. Петюшик<sup>1</sup>, д-р техн. наук, проф.,  
В.М. Горохов<sup>2</sup>, д-р техн. наук, О.А. Прохоров<sup>2</sup>, канд. техн. наук,  
А.А. Дробыш<sup>3</sup>, канд. техн. наук, С.П.Игнатенко<sup>2</sup>, к.х.н.

Углеродные композиционные материалы (УКМ), армированные непрерывным углеродным волокном ( $C_B$ ) являются перспективным материалом для работы в условиях высоких температур. Армирование низко или среднемодульным углеродным волокном металлов и сплавов (например, на основе меди, олова, свинца) позволяет значительно повысить их износостойкость в парах трения без существенного изменения коэффициента трения. Композиты систем  $C_B-C$  и  $C_B-SiC-Si$  широко используются в системах торможения самолетов и гоночных автомобилей [1].

Общей стратегией для изготовления УКМ является создание препрегов – заготовок, определяющих структуру композита, – их сборки, пиролиза связующего и пропитки матричными материалами, в качестве которых могут применяться металлы, разлагаемые соли металлов, либо карбонизирующиеся вещества (пеки, фенолформальдегидные, эпоксидные и фурановые смолы).

Целью настоящего исследования является исследование возможности получения препрегов на основе углеродного волокна и бакелитовых связок.

В качестве армирующей фазы использовали крученую углеродную нить «Урал Н-70» производства ПО «Химволокно» (г. Светлогорск, Беларусь), состоящую из 2000 элементарных графитовых волокон диаметром 6 мкм (рисунок 1). В качестве связующего использовали 50 % раствор пульвербакелита в этиловом спирте. Заготовку в виде втулки с внутренним диаметром 13,5 мм, высотой 10 мм и толщиной стенки 2,5 мм получали путем параллельной намотки на полипропиленовую оправку со съемными фланцами. В процессе намотки нить проходила через ванну со связующим, излишки которого удалялись на обжимных валках.



**Рисунок 1 – Углеродная нить «Урал Н-70»**

Образцы, полученные рядовой намоткой [2] с углом намотки 3–4 °, характеризовались крайне малой прочностью и при относительно небольших нагрузках расслаивались на отдельные витки. При использовании кре-

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-