

3. Direct metal laser sintering / Advance materials & processes, 2002, J. Haninen; May. P. 33–35.

4. Порошковая металлургия, №1/2, 1997, / Толочко Н.К., Михайлов В.Б., Мозжаров С.Е., Соболенко Н.В., Ядройцев И.А. с. 54–62.

5. Металловедение / Гуляев А.П. – М.: Металлургия, 1986 г.

УДК 621.762.224

## **ВВЕДЕНИЕ НАНОЧАСТИЦ ГРАФИТА В СОСТАВ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ**

А.П. Ласковнев, член-корр., д-р техн. наук, Г.В. Марков, канд. техн. наук  
Физико–технический институт НАН Беларуси  
(г. Минск, Республика Беларусь)

На Минском моторном заводе для изготовления подшипников скольжения используется композиционный материал на основе сплава Al–Cu–Mg–Si с добавлением графита [1]. Чтобы получить этот композиционный материал в матричный расплав вводится лигатура, приготовленная из порошка алюминия и графита. Процесс приготовления лигатуры включает в себя смешивание порошков, их брикетирование, экструдирование и выдавливание порционных заготовок [2]. Так как содержание графита в композиционном материале не превышает 1–3 мас.%, то достаточно трудно добиться равномерного распределения включений графита по объему материала. Для этого используются различные методы, порой самые неординарные. В данной работе представлены результаты использования для данных целей вакуумного электродугового метода нанесения графитовых покрытий на стружечные алюминиевые материалы.

В вакуумном электродуговом методе (метод КИБ) [3], входящем в группу ионно–плазменных методов нанесения покрытий, основным инструментом нанесения покрытий является плазма вакуумной дуги, возбуждаемая (зажигаемая) в вакууме между проводящими катодом и анодом. При этом покрытие на подложке формируется в основном потоком положительных ионов, источником которого является катодное пятно вакуумной дуги.

Классическая картина [4–9] основных физических процессов, происходящих в катодном пятне вакуумной дуги металлов, когда между катодом и анодом создана некоторая разность электрического потенциала  $U$  и существует вакуумная дуга, включает в себя испарение атомов металла, термоавтоэлектронную эмиссию электронов, разлет испарившихся атомов, ускорение эмитируемых электронов и ионизацию ими испарившихся атомов металла, разлет образовавшегося плазменного облака.

Несколько иная картина физических процессов происходит в катодном пятне графита. Так как графит не плавится, то идет не испарение атомов углерода, а их сублимация с поверхности катода в катодном пятне. Из–за сильной анизотропии свойств графита катодное пятно на его поверхности является источником не микрокапель, а микрочастиц графита. Обычно размер этих микрочастиц расположен в интервале 0,01–10 мкм. При этом масса испускаемых пят-

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. Vohman, 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.