

УДК 621.316.923.1:629.78

П. С. Степанов, Д. Л. Кайгородов, В. П. Парначев, Н. В. Безуглова

ОАО «Научно-производственный центр «Полюс», Россия, Томск

**ТЕХНОЛОГИЯ И МАТЕРИАЛЫ ГАЗОДИНАМИЧЕСКОГО НАПЫЛЕНИЯ**

*Представлены технология и оборудование для газодинамического напыления. Приведены режимы напыления порошков алюминия, меди, никеля, цинка, а также результаты анализа полученных покрытий.*

Газодинамическое напыление металлических покрытий – это процесс их формирования при соударении холодных (с температурой, существенно меньшей температуры плавления) частиц металла, ускоренных сверхзвуковым газовым потоком до скорости несколько сот метров в секунду, с поверхностью обрабатываемой детали. При ударах нерасплавленных металлических частиц о подложку происходит их пластическая деформация, и кинетическая энергия частиц преобразуется в тепло и, частично, в энергию связи с подложкой, обеспечивая формирование сплошного слоя из плотно упакованных металлических частиц.

Обнинским центром порошкового напыления разработано технологическое оборудование «ДИМЕТ» и созданы различные виды порошков (например, 60 % Al и 40 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (корунд); 70 % Cu и 30 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и т. д., Al, Cu) для нанесения и наращивания металлов на керамические и металлические детали методом газодинамического напыления. Корунд добавлен в порошки для более плотной упаковки металла. Чистый корунд используется для очистки поверхности.

Работы проводились на оборудовании для газодинамического напыления ДИМЕТ Д420, имеющим следующие характеристики:

- дистанционное управление всеми функциями при автоматизированной работе;
- энергопотребление 220 В; 3,3 кВт;
- давление сжатого воздуха 6 – 10 атм, расход – 400 л/мин.

При напылении металлических покрытий на керамической подложке ВК-95-1 СТ 7. 899. 033 ТУ 5961-027-07621739-2009 давление составлено в диапазоне 5,0–6,0 атм, расстояние от сопла напылителя до напыляемой поверхности – 15 мм. Результаты приведены для одного цикла напыления (за один проход сопла) (табл. 1, 2).

В результате работы подобраны режимы нанесения покрытий на керамическую подложку ВК-95-1 СТ 7. 899. 033 ТУ 5961-027-07621739-2009 и получены металлические покрытия, удовлетворяющие предъявленным требованиям. На основе разработанных технологий изготавливаются плавкие вставки, где с помощью газодинамического напыления выполняются металлические контакты на керамических деталях. Возможно применение метода для изготовления керамических плат с мощными шинами питания.

Таблица 1

Наименование параметра	Порошок	Скорость движения напылителя, см/с	Температура нагрева, °С	Расход порошка (деление шкалы)	Толщина напыленного слоя, мм	Количество металла в порошке, %
Минимальная толщина нанесения слоя металлизации	A-10-04	1	400	4	0,04	15 Al
	A-20-01	2	400	4	0,045	60 Al
	C-01-01	4	400	5,5	0,03	55 Cu
	C-01-00	2	400	5	0,01	100 Cu
	N3-00-02	1	500	4,5	0,04	57 Ni
Оптимальная толщина нанесения слоя металлизации	A-10-04	0,5	500	4,5	0,17	15 Al
	A-20-01	1	400	4	0,17	60 Al
	C-01-01	1	400	6	0,26	55 Cu
	C-01-00	0,5	400	5,5	0,15	100 Cu
	N3-00-02	0,5	500	6,5	0,22	57 Ni

*Примечание.* Остальная часть порошка – корунд.

Порошок	Наименование параметра	Значение	Примечание
Все указанные выше	Минимальная ширина нанесения слоя металлизации, мм	5	Обеспечивается фиксированным диаметром сопла
	Максимальная ширина нанесения слоя металлизации, мм	7	
A-10-04	Электрическое удельное сопротивление, Ом/□	0,02	–
A-20-01		0,02	
C-01-01		0,03	
C-01-00		0,06	
N3-00-02		0,11	
A-10-04 C-01-01 C-01-00	Адгезия к материалам, кг/см <sup>2</sup>	~230	Трехслойная структура
C-01-01 C-01-00	Химическая стойкость покрытия	–	Вследствие окисляемости медного слоя необходимо проводить операцию гальванического серебрения либо допускать минимальный разрыв во времени между операциями нанесения последнего слоя C-01-00 и лужения
Все указанные выше	Трещиностойкость	–	Трещины в покрытиях не обнаружены, в том числе по граням
	Равномерность нанесения слоев	–	Благодаря автоматической системе перемещения по двум осям покрытие наносится равномерно. Существует краевой эффект
C-01-01	Паяемость	–	Смачиваемость припоем неудовлетворительная. Медь + корунд
C-01-00			Смачиваемость припоем удовлетворительная при использовании активного флюса. Никель + корунд
N3-00-02			Смачиваемость припоем хорошая. Медь

*P. S. Stepanov, D. L. Kaigorodov, V. P. Parnachev, N. V. Bezuglova*

JSC «Scientific-Production Center “Polus”», Russia, Tomsk

#### TECHNOLOGY AND MATERIALS OF GAS-DYNAMIC EVAPORATION

*The technology and equipment for gas-dynamic evaporation are presented. Modes of evaporation with powder of aluminum, copper, nickel, zinc are specified here. Also, the results of analysis of resulting plating are considered.*

© Степанов П. С., Кайгородов Д. Л., Парначев В. П., Безуглова Н. В., 2011