

УДК 621.922.079

**РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДА ЭЛЕКТРОКОНТАКТНОГО СПЕКАНИЯ
В РЕЖИМЕ ТЕРМОСТАБИЛИЗАЦИИ
ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ МЕТАЛЛОАЛМАЗНЫХ КОМПОЗИТОВ**

*А.И. ПОЛУЯН, канд. техн. наук В.И. ЖОРНИК
(Институт механики и надежности машин НАН Беларуси, Минск)*

Дано теоретическое обоснование процесса электроконтактного спекания металлоалмазных порошковых композиций. Представлена схема технологического процесса электроконтактного спекания, формы реализации его применительно к изготовлению алмазного инструмента.

Для реализации процесса электроконтактного спекания металлоалмазной порошковой системы необходимо создание условий ее электропроводности. Условия электропроводности порошковой системы появляются при создании плотного контакта между порошковыми частицами, способствующими разрушению или утончению окисных пленок на их поверхности.

Пропускание электрического тока через уплотненную порошковую систему вызывает в ней ряд физических процессов, результатом которых являются диффузионные явления в межчастичных контактах.

Электрические и диффузионные процессы в металлической порошковой массе могут рассматриваться математически как потоки энергии или частиц либо как процессы массопереноса. Эти процессы описываются рядом поточных дифференциальных уравнений. Одно из них - уравнение теплопроводности Фурье:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \frac{\lambda}{\gamma c} \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}, \quad (1)$$

Аналогичным этому уравнению является уравнение Фика, описывающее процессы диффузии и массопереноса:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2}, \quad (2)$$

где C – концентрация вещества в исследуемом объеме; D – коэффициент диффузии или коэффициент массопереноса.

Уравнения Максвелла определяют электрическое и магнитное поля:

$$\frac{\partial E}{\partial t} = \frac{\rho}{\mu} \frac{\partial^2 E}{\partial x^2}, \quad (3)$$

$$\frac{\partial B}{\partial t} = \frac{\rho}{\mu} \frac{\partial^2 B}{\partial x^2}, \quad (4)$$

где E – электрический потенциал; ρ – удельное сопротивление; μ – магнитная проницаемость; t – время протекания тока; x – координата; B – магнитная индукция.

Вышеприведенные математические зависимости описывают общий вид физического процесса электроконтактного спекания, конечным результатом которого является уплотнение порошковой системы до плотности монолитного металла [1].

Процесс электроконтактного спекания осуществляется в специальных теплоэлектроизоляционных формах и делится на следующие стадии:

- предварительное или холодное прессование;
- горячее прессование и изотермическая выдержка;
- охлаждение (естественное или интенсивное).

Каждый из этих этапов определяет ряд физических процессов, происходящих в порошковой массе, и требует отдельного рассмотрения.

На первом этапе - предварительном прессовании - происходит холодная усадка порошковой массы, уменьшение ее объема и, соответственно, повышение плотности. Происходит активное механическое взаимодействие между порошковыми частицами, и в результате действия сил трения в межчастичных кон-

тактах выделяется энергия, позволяющая взаимодействовать неустойчивым электронам внешних оболочек атомов металлов. Это приводит к разрушению окисных пленок или уменьшению их толщины, что создает условия электропроводности и интенсифицирует процесс начальной диффузии и массопереноса.

В процессе холодного прессования в результате перемещения частиц происходит их взаимное разрушение или деформирование (в случае использования пластичных металлов), что ведет к уменьшению пористости порошкового объема, т.е. к компактированию.

Таким образом, цель первой стадии (холодного прессования) - снижение удельного электрического сопротивления порошковой массы до порогового уровня $(10...15) \cdot 10^{-4}$ Ом-см, позволяющего осуществить условие электропроводности системы.

На втором этапе происходит разогрев порошковой системы путем пропускания электрического тока.

Количество тепла, выделяемое в зонах межчастичных контактов системы, согласно закону Джоуля - Ленца в общем виде может быть выражено уравнением:

$$Q = \int_0^t \int_0^T J_H^2(t) R_c(T) dt dT, \quad (5)$$

где J_H – величина тока нагрева; R_c – активное сопротивление всей системы; t, T – координаты времени и температуры соответственно.

В свою очередь общее сопротивление системы может быть представлено в следующем виде:

$$R_c = \sum_0^h R_M + \sum_0^h R_K + \sum_0^h R_Э, \quad (6)$$

где R_M – электрическое сопротивление материала порошка на длине h прохождения тока; R_K – переходное сопротивление всех взаимных контактов частиц на этой длине; $R_Э$ – сопротивление вторичного контура установки электродов-пуансонов и оснастки.

Так как материалы электродов и оснастка представляют собой цветные сплавы на основе меди, сопротивление этого участка цепи ($R_Э$) неизмеримо мало по сравнению с первыми двумя величинами (R_M, R_K) и им можно пренебречь. Таким образом, уравнение (5) принимает следующий вид:

$$Q = \int_0^t \int_0^T J_H^2(t) \sum_0^h (R_M + R_K)(T) dt dT. \quad (7)$$

Наиболее общим в представлении о спекании электропроводных порошков при прохождении тока большой плотности является следующее:

- формирование материала происходит за счет образования в местах контакта шеек, являющихся результатом локального плавления частиц при возникающем электрическом разряде;
- эффект сваривания частиц порошка усиливается при наличии на поверхности дефектных слоев, оксидных пленок и др., имеющих более высокое электросопротивление, чем сердцевина частиц, и таким образом увеличивающих пробивное напряжение, а следовательно и локальную температуру;
- разрушение высокоомных слоев на поверхности частиц, а также увеличение площади их контактов путем приложения дополнительного давления, что может существенно снизить температуру спекания материала [2].

Эти закономерности учитывались при разработке оборудования для электро контактно го спекания (ЭКС) композиционных материалов. Установка электроконтактного спекания осуществляет предварительное сжатие шихты в диапазоне давления $(10...100)$ МПа) и последующее спекание путем пропускания импульсов тока, обеспечивающее скорость разогрева компонентов порядка $10^3... 10^6$ град/с. Основным фактором процесса, определяющим его физику, является сопротивление порошкового слоя (r_c). Величина этого параметра зависит от структуры материала связки, концентрации наполнителя, геометрических параметров слоя и активирующего давления.

Реализация процесса электроконтактного нагрева для спекания композиционных порошковых материалов в режиме тепловой стабилизации возможна только в закрытых объемах. Поэтому определяющими элементами данной технологической схемы являются пресс-форма из электро- и теплоизоляционного материала и электроды-пуансоны, между которыми располагаются шихта и заготовка. Процесс ведется в точечном режиме с предварительным холодным уплотнением спекаемого объема порошка. Форма рабочей поверхности верхнего (подвижного электрода) определяется геометрическими параметрами формируемого слоя. Необходимость вертикального перемещения верхнего электрода относительно нижнего, на котором установлена пресс-форма, определяет выбор кинематической схемы силовой части электроконтактного оборудования.

Технологический процесс электроконтактного спекания в закрытых формах позволяет получать композиционные материалы различных геометрических форм и физико-механических свойств. Одним из важнейших преимуществ данной схемы является сохранность алмазного сырья при ведении процесса с высокой температурой (900... 1300 °С), что выше температуры графитизации алмаза (850 °С), и относительно низкими давлениями (10... 100 МПа), что выгодно отличает ее от традиционно способа спекания в печах. Время нагрева изменяется от нескольких секунд до нескольких минут.

Качественное протекание процесса определяется рядом факторов:

- технологическими параметрами (ток, давление, время нагрева, величина усадки);
- качеством оснастки (выбор материалов, точность изготовления);
- выбором оптимального пути прохождения линий тока (взаимосвязь электродов с формой);
- качеством приготовления шихты (выбор связки, наполнителя, концентрации, равномерность распределения наполнителя по объему связки).

Несоблюдение хотя бы одного из этих условий ведет к некачественному формированию слоя.

В качестве материала слоя может быть использована механическая смесь металлического (медь, железо, никель, кобальт и др.) и алмазных порошков требуемой концентрации.

Применение электроконтактного оборудования упрощает технологический процесс получения композиционных материалов, делает его экономичным и экологически чистым. Достигается высокая степень его автоматизации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кочергин К.А. Контактная сварка - Л.: Машиностроение, 1987. - 240 с.
2. Майстренко А.Л., Иванов С.А. Интенсивное электроспекание алмазосодержащих композиционных материалов // Сверхтвердые материалы. - 2000. - № 5. - С. 39 - 45.