

УДК 621.762  
ИССЛЕДОВАНИЕ НАГРЕВА СЛОИСТЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ  
МАТЕРИАЛОВ ПРИ ЭЛЕКТРОИМПУЛЬСНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

Ю. Л. БОБАРИКИН, А. Н. ШВЕЦОВ  
Гомельский государственный технический  
университет им. П. О. Сухого  
Гомель, Беларусь

Одним из перспективных методов нанесения износостойких самосмазывающихся порошковых покрытий является метод электроимпульсного спекания [1]. Данный способ позволяет получать покрытия из антифрикционного металлофторопластового порошкового материала, имеющего расширенный диапазон эксплуатационных свойств за счет возможности совместного использования ферромагнитного и фторопластового компонентов. Совместное использование ферромагнитного и фторопластового компонентов при электроимпульсном воздействии затруднительно из-за низкой температуры разложения полимерного составляющего. Целью данной работы было определение температуры в зоне контакта при электроимпульсном воздействии. Объектом исследования являлась антифрикционная металлофторопластовая порошковая смесь при следующем соотношении компонентов, мас. %: железо 62,5...77,0; ПТФЭ-4 5...10,0; медь 5...10,0; никель 5...10,0; олово 1...2,5; омедненный графит 4...5,0.

На основании анализа известных зависимостей [2] для температуры в зоне деформации при пропускании через нее электрического тока определена следующая зависимость для схемы нанесения порошковых покрытий на металлическую подложку:

$$T_k = \frac{I^2 \cdot t_c \cdot [4 \cdot \rho \cdot h_n / d_t^2 + R_m]}{4 \cdot m \cdot \sqrt{\lambda \cdot \gamma \cdot c \cdot v \cdot H \cdot \sqrt{t_c}}} + \frac{p \cdot h}{4 \cdot m \cdot \sqrt{\lambda \cdot \gamma \cdot c \cdot v \cdot H \cdot \sqrt{t_c}}}, \quad (1)$$

где  $I$  – сила тока, А;  $m$  – коэффициент, учитывающий неравномерность падения температуры,  $m = 1/2$ ;  $t_c$  – время сварки, с;  $R_m$  – электросопротивление материала, Ом;  $\rho$  – удельное электросопротивление, Ом·м;  $h_n$  – толщина проплавления, м;  $d_t$  – диаметр точки проплавления, м;  $\lambda$  – плотность материала, кг/м<sup>3</sup>;  $\gamma$  – коэффициент теплопроводности материала, Вт/(м·К);  $c$  – удельная теплоемкость материала, Дж/(К·кг);  $v$  – скорость движения роликов, м/с;  $H$  – начальная высота полосы до прокатки, м;  $p$  – контактное давление, Па;  $h$  – толщина материала после прокатки, м;  $S$  – площадь контакта прокатываемого материала с валками-электродами, м<sup>2</sup>.

Для электросопротивления композиционного материала  $R_m$  на основании экспериментальных данных получено уравнение:

$$R_m = 1,56931 - 0,0246T_k + 0,00009T_k - 1,35585p + 0,3031p^2 + 0,0107T_k \cdot p. \quad (2)$$

Удельное электросопротивление  $\rho$  определяется по уравнению

$$\rho = \frac{R \cdot S}{(H + h) / 2} \quad (3)$$

Величина  $S$  определяется по формуле

$$S = b \cdot l_3, \quad (4)$$

где  $b$  – ширина полосы, м.

Для определения контактного давления  $p$  при процессе прокатки в валках-электродах использовалось известное уравнение А. И. Целикова [3]:

$$p = \frac{1}{\Delta h} \cdot \left\{ \sigma_s \cdot \frac{H}{\delta - 2} \cdot \left[ \left( \frac{H}{h_n} \right)^{\delta - 2} - 1 \right] + \sigma_s \cdot \frac{h}{\delta + 2} \cdot \left[ \left( \frac{h_n}{h} \right)^{\delta + 2} - 1 \right] \right\}; \quad \delta = \frac{2 \cdot \mu \cdot l_3}{\Delta h}, \quad (5)$$

где  $\mu$  – коэффициент трения;  $l_3$  – длина дуги захвата без учета упругой деформации валков и полосы, м;  $\Delta h$  – абсолютное обжатие, м;  $\sigma_s$  – сопротивление пластической горячей деформации порошка, Па;  $h_n$  – высота нейтрального сечения полосы, м.

Величины  $l_3$ ,  $\Delta h$ ,  $h_n$ ,  $\sigma_s$  определяются по формулам:

$$l_3 = \sqrt{R \cdot \Delta h}; \quad \Delta h = H - h; \quad h_n = \sqrt[2\delta]{H^{\delta - 1} \cdot h^{\delta + 1}}; \quad \sigma_s = \sigma_{o.d.} \cdot k_t \cdot k_\varepsilon \cdot k_u, \quad (6)$$

где  $R$  – радиус валков-электродов, м;  $\sigma_{o.d.}$  – базовое значение  $\sigma_s$  при стандартных режимах испытаний при горячей деформации, МПа;  $k_t, k_\varepsilon, k_u$  – термомеханические коэффициенты, зависящие от температуры, степени и скорости деформации.

Плотность пористого проката  $\lambda$  :

$$\lambda = \frac{\lambda_{нас} \cdot (1 - \varepsilon_2)}{1 - \varepsilon_1}, \quad (7)$$

где  $\lambda_{нас}$  – насыпная плотность материала, кг/м<sup>3</sup>;  $\varepsilon_1$  – относительная степень деформации материала при предварительной прокатке;  $\varepsilon_2$  – относительная степень деформации материала при электроконтактном воздействии.

После подстановки значений из формул (2)–(7) в (1) получаем трансцендентное уравнение, которое решается относительно величины  $T_k$  с помощью ЭВМ. Адекватность трансцендентного уравнения доказана сравнением расчетных и фактических значений  $T_k$ .

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Способ получения покрытия из антифрикционного металлофторопластового порошкового материала: пат. РБ 8498 / Ю. Л. Бобарикин, А. Н. Швецов, С. В. Шишков. – Оpubл. 2010.
2. **Кочергин, К. А.** Контактная сварка / К. А. Кочергин. – Ленинград: Машиностроение, 1987. – 240 с.
3. Теория прокатки: справочник / А. И. Целиков [и др.]. – Москва: Металлургия, 1980. – 320 с.

