

УДК 621.791.75.042

Пресняков В. А., Кошевой А. Д.

**ОСОБЕННОСТИ НАГРЕВА ПОРОШКОВОГО МАТЕРИАЛА
В МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКЕ**

Проблема повышения надежности и долговечности машин непосредственно связана с развитием фундаментальных и прикладных исследований в области теории и практики получения износостойких покрытий. Одним из эффективных способов нанесения износостойких покрытий является электроконтактная наплавка порошкового материала в металлической оболочке (ЭКНПО) [1, 2]. Разработка оптимальной технологии нанесения покрытия невозможна без изучения процессов нагрева и деформации присадочного материала.

Целью данной работы является изучение процесса нагрева порошкового материала, заключенного в металлическую оболочку.

При ЭКНПО предварительный нагрев присадочного материала осуществляется теплом, идущим от источника тепла по металлической оболочке. Причем величина предварительного подогрева зависит от положения присадочного материала перед входом в зону деформации и нагрева. Он может находиться либо в контакте с деталью (рис. 1, а), либо с электродом (рис. 1, б). В первом случае происходит дополнительный подогрев присадочного материала нагретой деталью, во втором охлаждение наплавляющим электродом [3, 4]. Необходимо учитывать этот момент при разработке технологического процесса конкретной детали и использовать для регулирования температуры нагрева присадочного материала.

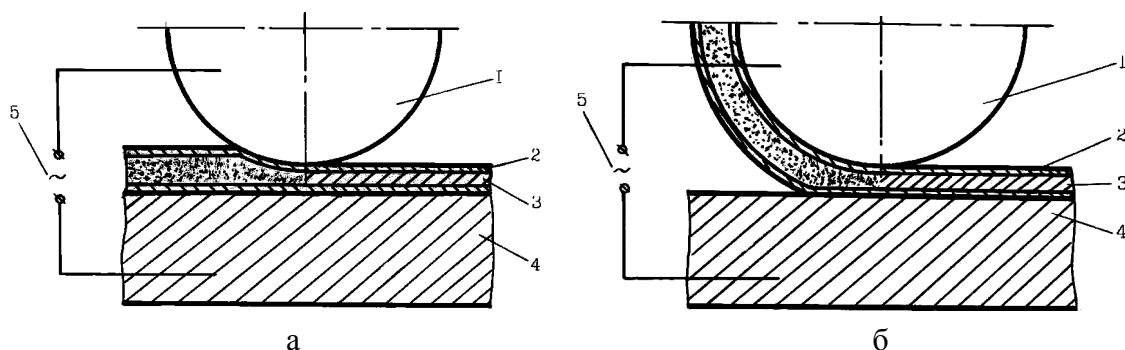


Рис. 1. Варианты расположения присадочного материала перед зоной деформации:

1 – ролик-электрод; 2 – металлическая оболочка; 3 – порошковый материал; 4 – деталь; 5 – источник питания

Еще одна особенность ЭКНПО оказывает существенное влияние на кинетику нагрева присадочного материала. Это изменение площади контакта между оболочкой и деталью как перед включением импульса тока (холодная деформация), так и в процессе нагрева после включения электрического тока [5].

Анализ литературных источников показывает, что в начальный момент электрический ток идет по оболочке, а не через порошковый слой. Это приводит к тому, что в порошке в данный период тепло не выделяется, а поглощается, поэтому необходимо изучить тепловой баланс ЭКНПО, так как в данном случае происходит перемещение места тепловыделения из одной части присадочного материала в другую, а это накладывает свой отпечаток на процесс нагрева присадочного материала и приконтактного объема детали при ЭКНПО.

Нагрев присадочного материала при ЭКНПО определяется одновременно протекающими процессами выделения тепла и его распространения [6]. Общее количество выделяемого тепла может быть учтено по отдельным слагаемым и определено по уравнению:

$$Q = Q_{об} + Q_{п} + Q_{к}, \tag{1}$$

где $Q_{об}$, Q_n – соответственно тепло, выделяемое в оболочке и порошке за счет их собственного электросопротивления;

Q_k – тепло, выделяемое в контакте между оболочкой и деталью.

На первом этапе ЭКНПО тепло в порошковом материале не выделяется, а поглощается. На рис. 2, а показана схема теплового баланса на первом этапе процесса, когда электрический ток практически, не протекает через слой порошка. Можно записать уравнение теплового баланса на первом этапе:

$$Q_{об} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5, \tag{2}$$

где Q_1 – тепло для нагрева объема единичной площадки наплавляемого металла до температуры $(0,9-0,95)T_{пл}$;

Q_2-Q_5 – тепло, отводимое за время импульса тока в массу детали, электрода, предыдущей площадки наплавленного металла, присадочной проволоки.

$$Q_1 = Q_{об} + Q_n = V \cdot g_{об} \cdot c_{об} \cdot (T - T_0) + V_n \cdot g_n \cdot c_n \cdot (T - T_0), \tag{3}$$

где $Q_{об}$ – количество тепла, идущее на нагрев объема ($V_{об}$) оболочки, находящегося в очаге деформации;

Q_n – тепло, идущее на нагрев объема порошка (V_n), находящегося в очаге деформации;

$g_{об}$, g_n – плотность металла оболочки и порошка;

$c_{об}$, c_n – средняя удельная теплоемкость оболочки и порошка в температурном интервале от T_0 до T .

Объем оболочки, находящейся в очаге деформации:

$$V_{об} = L \cdot S_{n.c.}^{об}, \tag{4}$$

где $S_{n.c.}^{об}$ – площадь поперечного сечения оболочки, определяется по номограммам;

L – длина очага деформации.

$$V_n = \Pi_{cp} \cdot L \cdot S_{n.c.}^n, \tag{5}$$

где Π_{cp} – средняя плотность порошкового материала;

$S_{n.c.}^n$ – поперечное сечение порошкового материала.

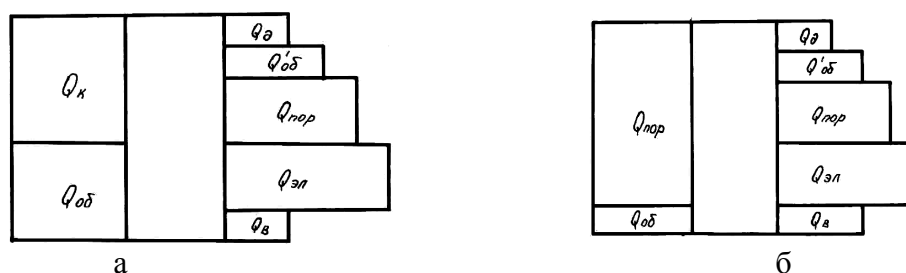


Рис. 2. Тепловой баланс при электроконтактной наплавке порошкового материала в металлической оболочке

Тогда:

$$Q_1 = (T - T_0) \cdot \left(S_{n.c.}^{об} \cdot g_{об} \cdot c_{об} + S_{n.c.}^n \cdot g_n \cdot c_n \cdot \Pi_{cp} \right) \cdot L. \tag{6}$$

Но:

$$S_{n.c.}^{об} = p \cdot d \cdot (2R - d); S_{n.c.}^n = p \cdot (R - d)^2. \tag{7}$$

Следовательно:

$$Q = p \cdot L \cdot (T - T_0) \cdot \left(d \cdot (2R - d) \cdot g_{об} \cdot c_{об} + (R - d)^2 \cdot g_n \cdot c_n \cdot \Pi_{cp} \right), \quad (8)$$

где R – радиус оболочки;

d – толщина оболочки.

Количество тепла, отводимое в массу детали:

$$Q_2 = V_2 \cdot c_2 \cdot g_2 \cdot \frac{T_n}{4}, \quad (9)$$

где V_2 – объем нагреваемого металла детали;

C_2 – средняя удельная теплоемкость металла детали;

g_2 – плотность металла детали.

Объем нагреваемого металла детали:

$$V_2 = 4 \cdot F_K \cdot \sqrt{a_2 \cdot t_u}, \quad (10)$$

где a_2 – коэффициент температуропроводности металла детали.

Количество тепла, отводимое в электрод:

$$Q_3 = K_3 \cdot V_3 \cdot c_3 \cdot g_3 \cdot \frac{T_n}{8}, \quad (11)$$

где K_3 – коэффициент, учитывающий изменение площади контакта оболочки с электродом в зависимости от режима наплавки (изменяется от 0,5 до 1,0).

Объем нагреваемого металла электрода:

$$V_3 = 4 \cdot F_K \cdot \sqrt{a_3 \cdot t_u}, \quad (12)$$

где a_3 – коэффициент температуропроводности металла электрода.

Количество тепла, отводимое в массу предыдущей площадки наплавленного металла и в присадочную проволоку равно:

$$Q_4 = Q_5 = 0,25 \cdot V_{4,5} \cdot c_1 \cdot g_1 \cdot (T - T_0). \quad (13)$$

Полученные уравнения для определения составляющих теплового баланса подставляем в формулу (2):

$$Q = p \cdot L \cdot (T - T_0) \cdot \left(d \cdot (2R - d) \cdot g_{об} \cdot c_{об} + (R - d)^2 \cdot g_n \cdot c_n \cdot \Pi_{cp} \right) + F_K \cdot \sqrt{a_2 \cdot t_u} \cdot c_2 \cdot g_2 \cdot T_n + F_K \cdot \sqrt{a_3 \cdot t_3} \cdot K_3 \cdot c_3 \cdot g_3 \cdot \frac{T_n}{2} + 0,5 \cdot V_4 \cdot c_1 \cdot g_1 \cdot (T - T_0). \quad (14)$$

Уравнение теплового баланса на втором этапе ЭКНПО (рис. 2, б) можно записать:

$$Q_n + Q_{об} = q_d + q_{об} + q_n + q_{эл} + q_e. \quad (15)$$

Физическая сущность данного выражения состоит в том, что тепло на втором этапе ЭКНПО выделяется в порошковом слое и оболочке. Контактное сопротивление к этому моменту исчезает вследствие пластической деформации присадочного материала и образования соединения между оболочкой и деталью.

Анализ полученных зависимостей показывает, что температура нагрева участвующих в электроконтактном процессе деталей определяется многими теплофизическими, геометрическими

и технологическими факторами. Необходимо выявить влияние неисследованных факторов (толщина и диаметр оболочки, соотношение площадей поперечного сечения оболочки и порошкового материала и другие) на кинетику нагрева присадочного материала и приконтактного объема детали.

Экспериментальное определение температуры нагрева присадочного материала производилось на модернизированной точечной машине МТ-1222-У4. Температура измерялась с помощью хромель-алюмелевых термопар, расположенных в центре порошкового материала и в зоне контактов между оболочкой и деталью, между оболочкой и электродом. Регистрация сигнала осуществлялась шлейфовым осциллографом К12-22. За эталонное значение температуры принимали температуру плавления свинца. Изменяемыми параметрами были диаметр ($D_{об}$) и толщина ($d_{об}$) оболочки, начальная плотность порошкового материала (P_0), технологические параметры режима: ток (I), усилие на электрод (P), время протекания импульса тока (t_u).

На рис. 3 показана зависимость температуры оболочки и порошкового материала от силы тока и длительности его протекания. За время 0,02–0,04 с температура оболочки достигает своего максимума, затем, несмотря на продолжающееся протекание электрического тока, температура оболочки заметно падает. Это связано с перемещением зоны тепловыделения. В начальный момент тепло выделяется в зоне контакта оболочки и детали, за счет этого тепла происходит нагрев оболочки до максимальной температуры. Одновременно с этим происходит нагрев и деформация всего присадочного материала, что приводит к резкому увеличению площади контакта между оболочкой и деталью и исчезновению контактного сопротивления. При этом снижается плотность тока в контакте и увеличивается теплоотвод в наплавляемую деталь. Все эти процессы обуславливают уменьшение температуры оболочки на втором этапе ЭКНПО.

Кривые изменения температуры порошкового материала, заключенного в металлическую оболочку также хорошо согласуются с данными об электросопротивлении порошка и оболочки.

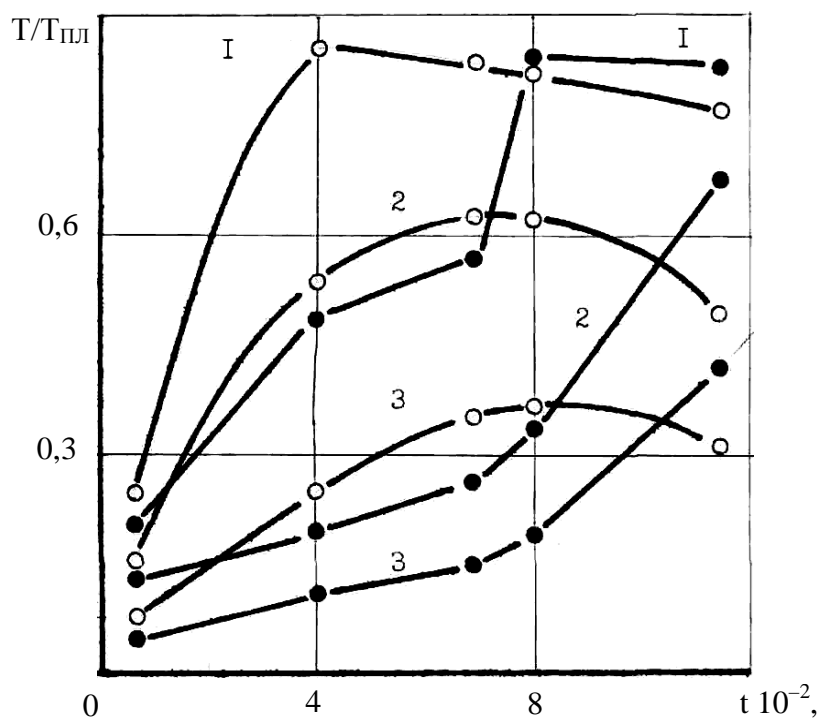


Рис. 3. Зависимость температуры нагрева оболочки и порошка от параметров режима: сила тока: 1 – 10–20 кА; 2 – 14–16 кА; 3 – 10–12 кА; о – оболочка; • – порошок

На первом этапе температура порошка увеличивается медленно, так как нагрев в основном происходит за счет теплоотвода от оболочки. После деформации присадочного материала, когда электрический ток начинает протекать непосредственно через порошковый слой, температура порошка резко возрастает за счет тепловыделения в контактах между частицами порошкового материала. Причем температура нагрева порошка может превышать температуру оболочки. После исчезновения контактных электросопротивлений в порошковом слое, вследствие продолжающейся деформации присадочного материала и окончательного уплотнения порошка, тепло, выделяемое за единицу времени, становится меньше тепла, отводимого в массу детали. Температура порошка начинает уменьшаться. Следовательно, можно сделать вывод, что увеличение времени протекания электрического тока выше определенного предела не приводит к дальнейшему повышению температуры присадочного материала.

ВЫВОДЫ

1. Нагрев порошкового материала в металлической оболочке при ЭКНПО можно разделить на два этапа: а) нагрев теплом, получаемым от металлической оболочки; б) нагрев при непосредственном прохождении электрического тока через слой порошка. Подобная схема нагрева предотвращает появление электроискровых процессов, перегрев и расплавление порошкового материала.

2. Нагрев при ЭКНПО, в основном, осуществляется за счет тепла выделяемого на контактных электросопротивлениях (на первом этапе в зоне контакта между оболочкой и деталью, на втором – в контактах между частицами порошкового материала). После исчезновения контактного электросопротивления, вследствие деформации присадочного материала температура порошка уменьшается независимо от времени протекания импульса тока.

3. Одним из основных параметров, определяющих температуру нагрева присадочного материала при ЭКНПО, является площадь контакта между оболочкой и деталью, определяемая усилием на электроде контактной сварочной машины и сопротивлением присадочного материала пластической деформации.

4. Температура нагрева при ЭКНПО определяется одновременно протекающими процессами выделения и распространения тепла и процессами пластической деформации присадочного материала, уплотнением и спеканием порошка в оболочке.

5. Полученные зависимости необходимо использовать при разработке технологических процессов электроконтактной наплавки деталей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пресняков В. А. Особенности электроконтактной наплавки порошковых материалов в металлической оболочке / В. А. Пресняков // Сб. статей «Состояние и перспективы развития электротехнологии». – Иваново, 1987. – С. 36–37.

2. Карпенко В. М. Электроконтактная наплавка порошковых материалов в металлической оболочке / В. М. Карпенко, В. Т. Катренко, В. А. Пресняков // Автоматическая сварка. – 1989. – № 5. – С. 34–35.

3. Пресняков В. А. Методика определения контактного электросопротивления при наварке / В. А. Пресняков // Сборник научных статей. – Краматорск, ДГМА. – 1996. – Выпуск 3. – С. 364–367.

4. Волков Д. А. Особенности формирования начального электросопротивления при контактной наплавке трфрикционных порошковых материалов / Д. А. Волков, В. Т. Катренко, В. А. Пресняков. – Машинознавство, 2004. – № 3 (81). – С. 47–49.

5. Волков Д. А. Исследование деформации присадочного материала в процессе совместной прокатки–электроконтактной наплавки / Д. А. Волков, В. А. Пресняков // Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні : тематич. зб. наук. пр. – ДДМА, Краматорськ. – 2005. – С. 527–531.

6. Карпенко В. М. Теоретические основы методики расчета температурных полей при электроконтактной наварке порошковых материалов в оболочке / В. М. Карпенко, В. Т. Катренко, В. А. Пресняков // Сборник научных статей. – Краматорск, ДГМА. – 1996. – Выпуск 3. – С. 364–367.