

Р.А. Латыпов, доктор техн. наук

Г.Р. Латыпова

Московский государственный вечерний металлургический институт

П.И. Бурак, канд. техн. наук

Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина

В.В. Булычев, канд. техн. наук

Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана (Калужский филиал)

РАСЧЕТНАЯ ОЦЕНКА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ В ЗОНЕ ФОРМИРОВАНИЯ СОЕДИНЕНИЯ ПРИ ЭЛЕКТРОКОНТАКТНОЙ ПРИВАРКЕ

Эксплуатационные и физико-механические свойства металлопокрытия, полученного электроконтактной приваркой (ЭКП), в значительной мере определяются распределением температур в зоне образования соединения между привариваемым и основным металлами [1, 2]. При разработке расчетной схемы было принято допущение, что в промежутках между импульсами тока приварки основной и привариваемый металлы охлаждаются до начальной температуры. Это позволяет рассмотреть распределение температур при единичном импульсе тока приварки без учета термического влияния предыдущих импульсов. В представленной статье излагаются результаты математического моделирования температурных полей от единичного импульса тока приварки при различных продолжительностях импульса тока приварки и значениях удельного электрического сопротивления слоя привариваемого металла. Принятая расчетная схема пояснена на рис. 1. Толщина слоя привариваемого металла 2 была принята $h_{сл} = 0,5$ мм,

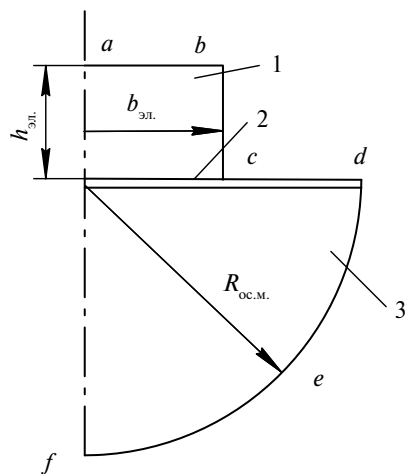


Рис. 1. Расчетная схема для моделирования электрических и температурных полей в зоне приварки:

1 — электрод; 2 — привариваемый слой порошка; 3 — основной металл

ширина роликового электрода $b_{эл} = 8$ мм. В расчетную область включили часть электрода 1 высотой $h_{эл} = 5$ мм и часть детали 3 радиусом $R_{ос.м} = 11$ мм. Сначала решали электрическую задачу расчета полей плотности тока.

Разность электрических потенциалов ϕ задавали между ребрами $a-b$ и $d-e-f$. Электрические потенциалы точек расчетной области находили из решения дифференциального уравнения:

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2} = 0. \quad (1)$$

Рассчитанные потенциалы использовали для расчета плотности тока

$$j(x, y, z) = \frac{1}{\rho_{эл}} \sqrt{\left(\frac{\partial \phi}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial \phi}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial \phi}{\partial z}\right)^2}, \quad (2)$$

где $\rho_{эл}$ — удельное электросопротивление.

Значения температур T находили из решения дифференциального уравнения нестационарной теплопроводности:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) + \frac{j^2 \rho}{c\gamma}, \quad (3)$$

где a — коэффициент теплопроводности; $c\gamma$ — объемная теплоемкость; t — время.

Для решения уравнения (3) были приняты следующие краевые условия:

- температура расчетной области в начальный момент времени $t = 0$ с постоянна и $T = 20$ °С;
- температуры на ребрах $a-b$ и $d-e-f$ постоянны в любой момент времени и $T = 20$ °С;
- на ребрах $b-c-d$ было принято граничное условие III рода, учитывающее влияние на температурные поля действия охлаждающей воды.

Электро- и теплофизические свойства полагали постоянными. Расчеты проводили в диапазоне изменения продолжительности импульса тока $t = 0,02 \dots 0,1$ с. Электрическое сопротивление по-

рошкового слоя оценивали относительным удельным электросопротивлением

$$\rho_{отн} = \frac{\rho_{сл}}{\rho_{ос.м}}$$

где $\rho_{сл}$, $\rho_{ос.м}$ — удельные электрические сопротивления порошкового слоя и основного металла.

Влияние на электропроводимость $\sigma_{сл}$ порошкового слоя пористости и неметаллических включений учитывали по известной зависимости:

$$\sigma_{сл} = \sigma_{м.ч} \left[1 + C_V \left(\frac{1 - C_V}{3} + \frac{\sigma_{м.ч}}{\sigma_V - \sigma_{м.ч}} \right)^{-1} \right], \quad (4)$$

где $\sigma_{м.ч}$, σ_V — электропроводимость основной и включенной фаз соответственно; C_V — объемное содержание включенной фазы, в том числе и пор.

Принимая во внимание, что электропроводимость пор и неметаллических включений $\sigma_V = 0$, после преобразований выражения (4) получили

$$\rho_{сл} = \rho_{м.ч} \left[1 - \frac{3C_V}{2 + C_V} \right]^{-1}, \quad (5)$$

где $\rho_{сл}$, $\rho_{м.ч}$ — удельное электрическое сопротивление порошкового слоя и металла частицы соответственно.

При электроконтактной приварке порошков из сплавов и высоколегированных сталей к деталям, выполненным из среднеуглеродистых и низколегированных сталей, электросопротивления привариваемого и основного металлов могут различаться до трех и более раз. Объемное содержание пор может меняться от 0,4...0,5 ($\rho_{м.ч} / \rho_{ос.м} = 2...2,5$) в начале термомеханического цикла электроконтактной приварки до 0...0,03 ($\rho_{м.ч} / \rho_{ос.м} = 1...1,05$) в конце термомеханического цикла электроконтактной приварки [1]. В связи с изложенным при моделировании приняли диапазон варьирования $\rho_{отн} = 1...4$.

Неравномерность нагрева порошкового слоя в зоне контакта оценивали коэффициентом k_T , определяемого как

$$k_T = \frac{T_{п}}{T_0},$$

где $T_{п}$ и T_0 — температуры порошкового слоя в центре и на периферии контакта.

Полученные зависимости между k_T и $\rho_{отн}$ представлены на рис. 2.

С увеличением $\rho_{отн}$ неравномерность нагрева зоны контакта снижается за счет повышения равномерности распределения плотности тока по площади контакта.

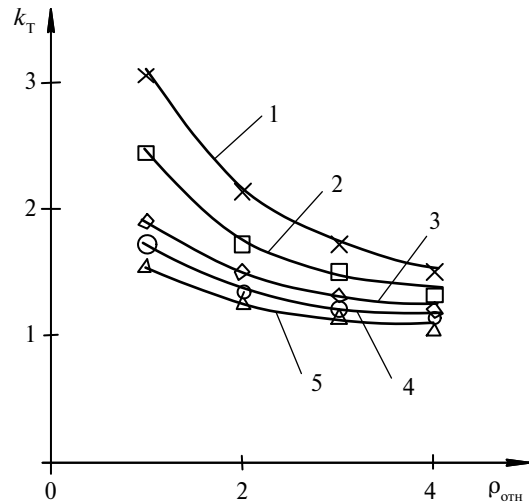


Рис. 2. Влияние относительного электросопротивления порошкового слоя на неравномерность нагрева зоны контакта:

1 — $t = 0,02$ с; 2 — $t = 0,04$ с; 3 — $t = 0,06$ с;
4 — $t = 0,08$ с; 5 — $t = 0,1$ с

В результате статистической обработки результатов моделирования выявлены близкие к линейным функциональные зависимости между значениями $\ln(k_T)$ и $\ln(\rho_{отн})$:

$$\ln(k_T) = 1,12 - 0,52 \ln(\rho_{отн}) \text{ при } t = 0,02 \text{ с,}$$

$$\ln(k_T) = 0,88 - 0,44 \ln(\rho_{отн}) \text{ при } t = 0,04 \text{ с,}$$

$$\ln(k_T) = 0,63 - 0,33 \ln(\rho_{отн}) \text{ при } t = 0,06 \text{ с,}$$

$$\ln(k_T) = 0,53 - 0,30 \ln(\rho_{отн}) \text{ при } t = 0,08 \text{ с,}$$

$$\ln(k_T) = 0,43 - 0,27 \ln(\rho_{отн}) \text{ при } t = 0,1 \text{ с,}$$

Коэффициент корреляции составил 0,99. Технологическим приемом, повышающим электросопротивление порошкового слоя, является введение в него некоторого количества неэлектропроводного абразивного материала. Такие смеси могут быть получены при подготовке порошков для электроконтактной приварки из отходов шлифовального производства [1]. Как следует из формулы (5), наличие до 10 % абразива дополнительно повышает удельное электросопротивление порошка более чем на 15%.

Список литературы

1. Латыпов, Р.А. Выбор компактных и порошковых металлических материалов и управление качеством покрытий при упрочнении и восстановлении деталей электроконтактной приваркой: автореф. дис. ... доктора техн. наук / Р.А. Латыпов. — М., 2006. — 50 с.
2. Фархшатов, М.Н. Ресурсосберегающие технологии восстановления деталей сельскохозяйственных машин и оборудования электроконтактной приваркой коррозионностойких и износостойких материалов: автореф. дис. ... доктора техн. наук / М.Н. Фархшатов. — Саранск, 2007. — 32 с.