

Библиографические ссылки

1. Лившиц Л. С. Металловедение для сварщиков (сварка сталей). М. : Машиностроение, 1979.
2. Хорн Ф. Атлас структур сварных соединений : пер. с нем. М. : Metallurgiya, 1977.
3. Плазменная наплавка металлов / А. Е. Вайнерман [и др.]. Л. : Машиностроение, 1969.
4. Исследование технологических возможностей наплавки независимой трехфазной дугой плавящимися электродами / А. А. Безруких [и др.] // Вестник СибГАУ. Вып. 2 (28). 2010. С. 131–134.

A. A. Bezrukih, R. A. Meister, M. A. Lubnin, S. A. Gotovko

COMPARATIVE ANALYSIS OF DIFFERENT WAYS SURFACING WITH CONSUMABLE ELECTRODES FOR STAINLESS STEELS WELDING

The results of comparative metallographic analysis surfacing in different ways with coated austenitic class electrodes for welding of stainless steels are given. The advantages of the high-deposition process by an independent three-phase arc are shown.

Keywords: surfacing, austenite, independent three-phase arc, consumable electrodes

© Безруких А. А., Мейстер Р. А., Лубнин М. А., Готовко С. А., 2010

УДК 621.791.76

А. Б. Мишуренко, С. Н. Козловский

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КОНТАКТНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ХОЛОДНОГО КОНТАКТА ПРИ КОНТАКТНОЙ ТОЧЕЧНОЙ СВАРКЕ

Рассмотрена проблема оптимизации режимов контактной точечной сварки, описана математическая модель для расчета начального сопротивления холодного контакта.

Ключевые слова: контактная точечная сварка, сопротивление холодного контакта.

Практика контактной точечной сварки и многочисленные результаты опубликованных исследований однозначно подтверждают: одним из основных исходных условий получения качественных сварных соединений является оптимальность начального сопротивления контакта «деталь–деталь» $r_{КТ}$. Его величина и стабильность существенно влияет на размеры ядра, устойчивость процесса против образования выплесков и непроваров [1]. Вместе с тем до настоящего времени при разработке технологий контактной точечной сварки значение $r_{КТ}$ определяют в основном экспериментально для конкретных условий сварки, однако это весьма трудоемко.

На основе проведенных исследований было сделано заключение о том, что из всех известных и исследованных в технологии машиностроения моделей шероховатых поверхностей для свариваемых контактов наиболее приемлема стержневая [2]. Тем более, что она наиболее просто и точно описывает механику контактного взаимодействия двух шероховатых поверхностей (рис. 1).

Согласно принятой модели контакта двух шероховатых поверхностей, проводимость в контактном слое осуществляется по n_r числу единичных параллельных микропроводников диаметром d ($d \rightarrow 0$) и длиной a , образующихся деформируемыми стержнями (микровыступами). Одну составляющую полного электрического сопро-

тивления такого микроконтакта $r_{КТ}$, которая обусловлена сопротивлением микропроводников в контактном слое, имеющих свойства, отличные от свойств основного металла, называют внутренним сопротивлением контакта $r_{КВ}$. Другую же часть, которая обусловлена искривлением линий тока j в приконтактных областях (рис. 2), где можно допустить, что свойства основного металла не изменились, называют микрогеометрическим сопротивлением контакта $r_{МГ}$. Тогда полное электрическое сопротивление контакта $r_{КТ}$ (Ом) будет равно сумме двух этих составляющих [3]:

$$r_{КТ} = r_{МГ} + r_{КВ} \quad (1)$$

Полное внутреннее электрическое сопротивление контакта $r_{ВН}$ (Ом) можно определить следующим образом:

$$r_{ВН} = \frac{r_{ВН}^*}{n_r} = \rho_{\Delta} \frac{a}{n_r \Delta S} = \rho_{\Delta} \frac{2R_{\max}(1-\varepsilon)}{A_r} \quad (2)$$

где $r_{ВН}^*$ – внутреннее электрическое сопротивление единичного контакта, Ом; n_r – количество микроконтактов; ρ_{Δ} – удельное электрическое сопротивление металла в контактном слое, Ом·м; A_r – фактическая площадь контакта, м²; ε – деформации в контактном слое; R_{\max} – наибольшая высота неровностей профиля, м; a – текущая толщина контактного слоя, м; ΔS – средняя площадь единичного контакта, м².

Для принятой модели микрогеометрическое сопротивление единичного контакта $r_{\text{МГ}}^*$ (Ом) можно определить по известной зависимости, с учетом его наличия в двух деталях (рис. 2):

$$r_{\text{МГ}}^* = 2\rho \left(\frac{1}{d} - \frac{1}{D} \right), \quad (3)$$

где ρ – удельное электрическое сопротивление свариваемого металла, Ом·м; d – диаметр цилиндрического микропроводника в контактном слое толщиной a , м; D – диаметр условного цилиндрического микропроводника вне контактного слоя, м.

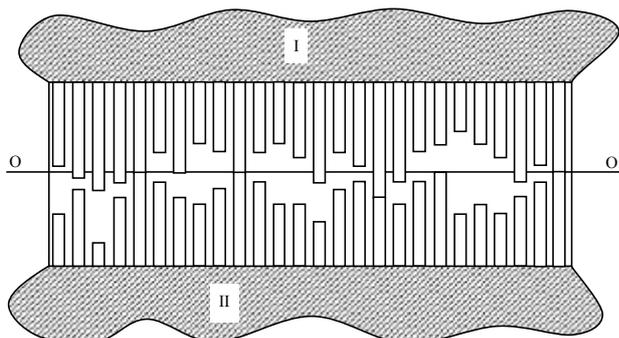


Рис. 1. Контакт двух шероховатых поверхностей. Стержевая модель

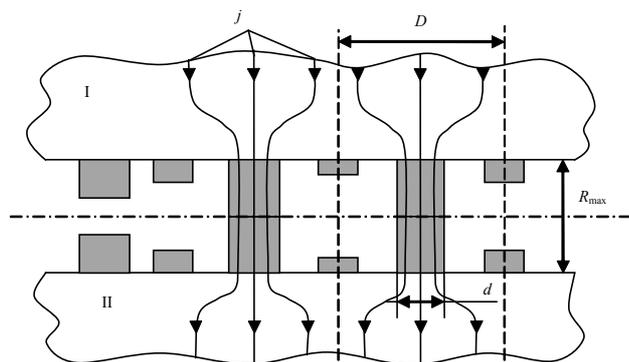


Рис. 2. Схема распределения тока по сечению свариваемых деталей для стержневой модели холодного контакта

Полное микрогеометрическое сопротивление контакта $r_{\text{МГ}}$ может быть определено по следующей зависимости [3]:

$$r_{\text{МГ}} = \frac{r_{\text{МГ}}^*}{n_r} = \frac{2\rho}{n_r} \left(\frac{1}{d} - \frac{1}{D} \right). \quad (4)$$

Для расчетов $r_{\text{ВН}}$ и $r_{\text{МГ}}$ необходимо определить механические параметры свариваемого контакта и, прежде всего, определить, какую деформацию претерпевают микровыступы, упругую или пластическую. Это можно сделать сравнением среднего давления $\sigma_{\text{СР}}$ (Па), действующего в контурной площади контакта, с критическим давлением $\sigma_{\text{К}}$ (Па), при котором контакт переходит в пластическое состояние.

Сравнение значений $\sigma_{\text{СР}}$ и $\sigma_{\text{К}}$ при усилии сжатия электродов, определенных практикой режимов контактной точечной сварки деталей толщиной 0,5...4 мм из различных сталей и сплавов, показывает, что микронеровности в свариваемых контактах всегда деформируются пласти-

чески. Например, при изменении R_{max} в пределах 37...2,4 мкм значение $\sigma_{\text{К}}/\sigma_{02}$ и $\sigma_{\text{СР}}/\sigma_{02}$ (в скобках) при контактной точечной сварке деталей толщиной 0,5...4 мм из сталей 08 и 12 X 18P10E, а также сплава АМг6 изменяется, соответственно, в следующих пределах: $2 \cdot 10^{-6} \dots 0,03$ (1,6...1,9), $1,2 \cdot 10^{-5} \dots 0,02$ (1,8...2,7) и $2,5 \cdot 10^{-5} \dots 0,4$ (1,8...2,9). Для пластического контакта, по сравнению с упругим, задача определения его механических параметров значительно упрощается тем, что фактическая площадь контакта зависит только от микрогеометрии поверхности, а сближение зависит лишь от распределения материала в шероховатом слое [4]. Для этих условий значение деформаций ε можно определить по зависимости [2]

$$\varepsilon = \left(\frac{\sigma_{\text{СР}}}{C_\varepsilon \cdot \sigma_{02} \cdot b} \right)^{\frac{1}{\nu}}, \quad (5)$$

где C_ε – коэффициент, учитывающий упрочнение металла в микронеровностях при их пластической деформации; b, ν – параметры опорной кривой; σ_{02} – условный предел текучести, Па. При условии контактирования двух одинаково шероховатых поверхностей параметры опорной кривой определяются по формуле [2]

$$b = k_{\nu_{1,2}} \cdot 2^{\nu_1} \cdot b_1^2, \nu = 2 \cdot \nu_1, \quad (6)$$

где b_1, ν_1 – параметры опорных кривых; $k_{\nu_{1,2}}$ – коэффициент, учитывающий взаимосвязь параметров степенной аппроксимации кривой опорной поверхности.

Число микроконтактов n_r и их средний диаметр d можно определить, используя модель ситовой проводимости (рис. 3):

$$n_r = \frac{A_r}{\Delta S} = \frac{A_c \cdot \eta}{2\pi \Theta \varepsilon},$$

$$d = \sqrt{\frac{4\Delta A_c}{\pi}} = 2\sqrt{2\Theta \varepsilon}, \quad (7)$$

где A_c – контурная площадь контакта, м²; η – отношение фактической площади контакта к контурной площади контакта; Θ – комплекс, учитывающий влияние микрогеометрии поверхностей, м².

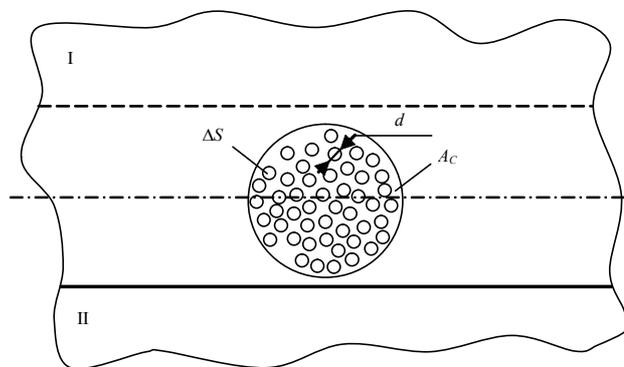


Рис. 3. Модель ситовой проводимости контакта

Среднее значение площади растекания линий тока от единичного микропроводника можно определить как площадь контактирующих микронеровностей к числу микроконтактов:

$$\Delta A_c = \frac{A_c}{n_r}, \quad (8)$$

а ее диаметр D по следующей зависимости:

$$D = \sqrt{\frac{4\Delta A_c}{\pi}} = 2\sqrt{\frac{2\Theta \varepsilon}{\eta}}. \quad (9)$$

Пользуясь результатами проведенных исследований по изучению контактного сопротивления и проведя соответствующие математические выкладки с учетом (2, 4, 7–9), была получена зависимость для расчета сопротивления свариваемого контакта:

$$r_{KT} = \rho_{\Delta} \frac{2\sigma_{CP} R_{max} (1-\varepsilon)}{F_3 \eta} + \rho \frac{\pi\sigma_{CP} \sqrt{2\Theta \varepsilon}}{2F_3 \eta} (1-\sqrt{\eta}). \quad (10)$$

В зависимости (10) также учитывается влияние усилия сжатия электродов сварочной машины F_3 (Н) и среднего давления, действующего в контурной площади контакта σ_{CP} , на величину сопротивления свариваемого контакта.

Для практических расчетов r_{KT} по данной зависимости необходимо знать величину ρ_{Δ} . Для ее определения необходимо экспериментально измерить величину r_{KT} при любом F_3 (наиболее рационально измерять r_{KT} при F_3 , близком к рекомендуемому, при контактной точечной сварке данных деталей), а затем рассчитать величину ρ_{Δ} по следующей зависимости, полученной из (10):

$$\rho_{\Delta} = \frac{F_3 \eta}{2\sigma_{CP} R_{max} (1-\varepsilon)} \times \left(r_{KT} - \rho \frac{\pi\sigma_{CP} \sqrt{2\Theta \varepsilon}}{2F_3 \eta} (1-\sqrt{\eta}) \right). \quad (11)$$

Разработанная математическая модель позволяет по минимальному количеству экспериментальных замеров определить весь диапазон изменений контактного сопротивления холодного контакта для выбранных режимов контактной сварки. Расчеты, полученные с использованием разработанной модели, с точностью, достаточной для технологического применения, описывают поведение электрического сопротивления в контакте «деталь–деталь» R_d и «электрод–электрод» R_3 , о чем свидетельствуют экспериментальные и расчетные значения этих сопротивлений (рис. 4).

Применение данной модели определения контактного сопротивления позволяет повысить производительность при разработке технологических процессов контактной сварки без трудоемкого определения контактного сопротивления экспериментальным путем для конкретных условий протекания процесса сварки.

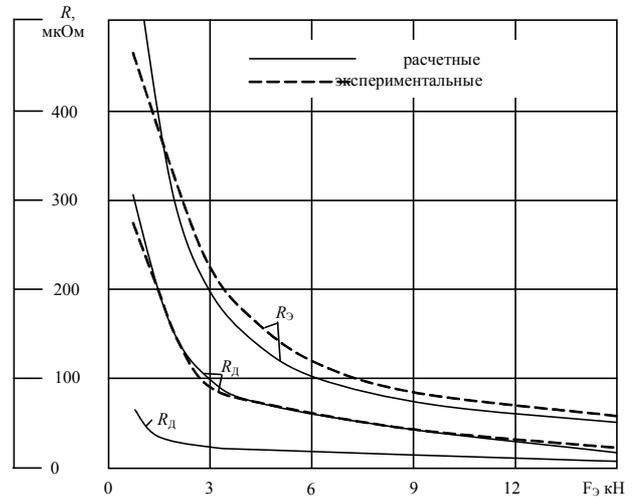


Рис. 4. Результаты экспериментальных и расчетных значений сопротивлений в контакте «деталь–деталь» R_d и «электрод–электрод» R_3 , в зависимости от усилия сжатия электродов сварочной машины F_3

Библиографические ссылки

1. Козловский С. Н. Моделирование взаимодействия деталей в площади контакта при точечной сварке // Известия вузов. Машиностроение. 1990. № 9. С. 89–94.
2. Крагельский И. В., Добычин М. И., Комбалов В. С. Основы расчетов на трение и износ. М.: Машиностроение, 1977.
3. Кочергин К. А. Контактная сварка. Л.: Машиностроение, 1987.
4. Гаркулов Д. Н. Триботехника (Износ и безызносность). М.: Изд-во МСХА, 2001.

A. B. Mishurenko, S. N. Kozlovsky

MATHEMATICAL MODEL OF CONTACT RESISTANCE SOF COLD CONTACT AT SPOT WELDING

The paper is devoted to a problem of spot welding mode optimization and contains description of mathematical model for calculation of initial resistance of cold contact.

Keywords: spot welding, resistance of cold contact.