

В.А. Кузнецов, Р.А. Шевченко, А.О. Патрушев, Н.А. Козырев, А.А. Усольцев
Сибирский государственный индустриальный университет

ЗАВИСИМОСТЬ УДЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ РЕЛЬСОВЫХ СТАЛЕЙ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ

Для расчета режимов контактной стыковой сварки рельсов оплавлением необходимо знание удельного электросопротивления свариваемого материала. Отличительной особенностью процесса сварки оплавлением от сварки сопротивлением является наличие оплавленного слоя между торцами деталей. При этом необходимо понимать, что электрический ток протекает не по всему сечению сварного стыка [1 – 6].

При нагреве сопротивлением происходит оплавление, тепло выделяется в контакте между деталями при прохождении по ним тока. Напряжение подается на несоприкасающиеся друг с другом свариваемые детали, после этого начинается медленное сближение этих деталей. При соприкосновении даже ровно обрезанных торцов деталей контакт между ними возникает в отдельных местах по имеющимся микронеровностям. Контакты в данном случае (нагрев сопротивлением) доводятся до расплавления. Для этого подводимое напряжение и плотность тока в контактах должны быть достаточно велики, чтобы контакты успели разрушиться раньше, чем их площадь успеет существенно увеличиться в процессе сближения деталей. После взрыва контактов на их месте образуются кратера и поверхность постепенно становится неровной. Контакты в каждой точке на поверхности торцов возникают через определенные промежутки времени, а места контактирования непрерывно изменяются. В любой момент общая площадь, занимаемая контактами, значительно меньше площади поперечного сечения свариваемых деталей. На большей части поверхности оплавления между торцами имеется зазор, величина которого неодинакова по сечению деталей [7]. При этом нагрев и расплавление микроконтактов между торцами свариваемых деталей происходит за счет тепла Q , выделяемого по закону Джоуля-Ленца:

$$Q = I^2 R t,$$

где I – сила тока, А; R – сопротивление, Ом; t – время, с.

Знание количества выделившейся теплоты позволит корректировать тепловложения при

сварке, глубину зоны термического влияния, процесс формирования структуры шва. При этом можно будет заранее предсказать ожидаемое качество сварного соединения, а также предотвратить возможное образование дефектов в рельсовой стали.

Количество выделяемой теплоты за определенный промежуток времени зависит от площади контактируемых поверхностей и от удельного электросопротивления свариваемого материала. Удельное электрическое сопротивление ρ рассчитывается по формуле:

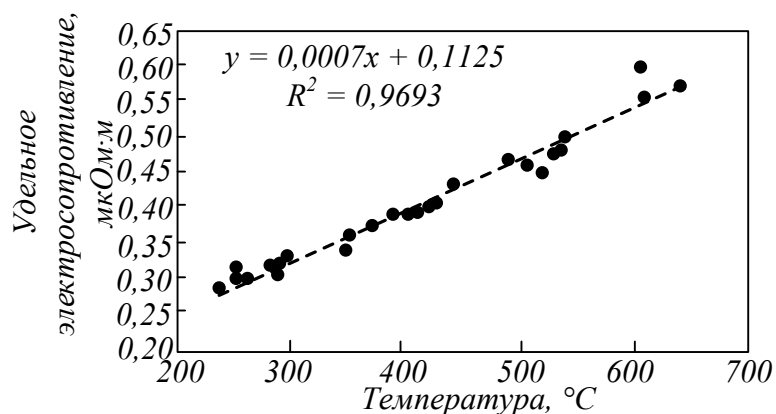
$$\rho = \frac{RS}{l},$$

где S – площадь поперечного сечения, м^2 ; l – длина проводника, м.

Характер изменения электропроводности сплава зависит от фаз и структур в сплаве. При нагревании стали образуется неравновесная структура с большими искажениями кристаллической решетки и внутренними напряжениями. Плотность дефектов по всему объему кристалла резко возрастает, что приводит к значительному росту удельного сопротивления [8, 9]. Также при нагревании рельсовой стали (эвтектический сплав) выше 727°C происходит превращение перлитной структуры в аустенитную.

В работе [10] исследовали влияние химического состава рельсовой стали на удельное электрическое сопротивление. В настоящей работе проведено измерение электросопротивления рельсовой стали в интервале температур $200 - 700^\circ\text{C}$. Использовали образцы размером $90 \times 30 \times 10$ мм. Химический состав рельсовой стали, используемой при исследовании электросопротивления, следующий: 0,76 % C; 0,77 % Mn; 0,53 % Si; 0,37 % Cr; 0,04 % V; 0,009 % P; 0,005 % S; 0,003 % Al; 0,07 % Ni; 0,11 % Cu; 0,005 % Mo; 0,001 % Nb; 0,005 % Sn; 0,002 % Sb (по массе).

Для нагрева образца использовали муфельную печь ЭКПС-50. Печь нагревали до 950°C , устанавливали образцы и выдерживали их в течение 10 мин. Образцы вынимали из печи при 900°C . Проводили замеры температуры и электросопротивления.



Зависимость удельного электросопротивления от температуры образцов

Температуру измеряли тепловизором HotFind-D (позволяет проводить измерение температур до 1500 °C). Тепловизор снабжен не охлаждаемой микроболометрической матрицей в фокальной плоскости объектива разрешением 160×120 пикс. Передача видеоизображения термограмм на персональный компьютер проводится с помощью платы видеозахвата аналогового сигнала в формате NTSC частотой 60 Гц.

Для замера электрического сопротивления рельсовой стали применяли прибор MI 3250 MicroOhm 10A (компактный микроомметр с испытательным током 10 А), предназначенный для измерения сопротивлений сварных соединений, соединений рельсовых путей, обмоток двигателей и генераторов и т.п. Во время измерения использовали электроды, позволяющие проникать через образовавшуюся при высоких температурах оксидную пленку.

На рисунке показана зависимость удельного электросопротивления образца.

На основе полученных данных построена регрессионная зависимость влияния температуры на удельное электрическое сопротивление рельсовой стали Э76ХФ.

Выводы. Проведено измерение электросопротивления образцов рельсовой стали Э76ХФ в диапазоне температур 200 – 700 °C. На основе полученных данных построена регрессионная зависимость влияния температуры на удельное электрическое сопротивление рельсовой стали Э76ХФ. Использование полученной регрессионной зависимости позволит производить расчет режимов контактной стыковой сварки рельсов оплавлением.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Weingrill L., Krutzler J., Enzinger N. Temperature field evolution during flash-butt welding of railway rails // Materials Science Forum. 2016. Vol. 879. P. 2088 – 2093.
2. Шевченко Р.А., Базайкин В.И., Кратько С.Н., Козырев Н.А., Патрушев А.О. Анализ токового режима работы сварочной машины К 1100 при сварке рельсов на этапе оплавления. – В кн.: Вестник горно-металлургической секции Российской академии естественных наук. Отделение металлургии: сборник научных трудов. Вып. 38. – М.; Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2017. С. 81 – 87.
3. Шевченко Р.А., Козырев Н.А., Шишкин П.Е., Крюков Р.Е., Усольцев А.А. Расчет оптимальных режимов электроконтактной сварки железнодорожных рельсов. – В кн.: Вестник горно-металлургической секции Российской академии естественных наук. Отделение металлургии: сборник научных трудов. Вып. 37. – М.; Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2016. С. 175 – 180.
4. Шевченко Р.А., Базайкин В.И., Кратько С.Н., Козырев Н.А., Шишкин П.Е. Исследование токового режима сварочной машины К1000 при сварке рельсов. – В кн.: Вестник Российской Академии естественных наук. Западно-Сибирское отделение. Вып. 20. – Новокузнецк: изд. СибГИУ, 2017. С. 106 – 111.
5. Шевченко Р.А., Шишкин П.Е., Патрушев А.О. Расчет оптимальных режимов электроконтактной сварки железнодорожных рельсов. – В кн.: Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения. Труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. 16 – 18 мая 2017 г. Вып. 21. Ч. 2. Естественные и технические науки. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2017. С. 225 – 229.
6. Шевченко Р.А., Козырев Н.А., Усольцев А.А., Патрушев А.О., Шишкин П.Е. Статистическая модель управления процессами контактной сварки рельсов // Вестник СибГИУ. 2017. № 1 (19). С. 4 – 8.

7. Кучук-Яценко С.И., Лебедев В.К. Контактная стыковая сварка непрерывным оплавлением. – Киев: Наукова думка, 1976. – 213 с.
8. Привалов Е.Е. Электротехническое материаловедение: учебное пособие. – М. – Берлин: Директ-Медиа, 2015. – 234 с.
9. Петрова Л.Г., Потапов М.А., Чудина О.В. Электротехнические материалы: учебное пособие. – М.: изд. МАДИ (ГТУ), 2008. – 198 с.
10. Кузнецов В.А., Шевченко Р.А., Усольцев А.А., Козырев Н.А., Крюков Р.Е. Методика

определения электрического сопротивления рельсовой стали. – В кн.: Вестник горно-металлургической секции Российской академии естественных наук. Отделение металлургии. Сборник научных трудов. Вып. 40. – М.; Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2018. С. 111 – 117.

© 2019 г. *В.А. Кузнецов, Р.А. Шевченко, А.О. Патрушев, Н.А. Козырев, А.А. Усольцев*
Поступила 19 февраля 2019 г.