

ЗВАРЮВАЛЬНЕ ВИРОБНИЦТВО

УДК 621. 791

© Чигарев В.В.¹, Гавриш П.А.², Пікуз В.С.³

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ УДЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ОТ ДЕФЕКТОВ СВАРНОГО ШВА МЕДИ СО СТАЛЬЮ ПРИ УСТАЛОСТНЫХ ИСПЫТАНИЯХ

Представлены результаты исследования зависимости изменения удельного электрического сопротивления от наличия дефектов и трещин сварного шва. Показана возможность при сравнении значений удельного электрического сопротивления металла без дефектов и дефектного металла определять качество сварного шва. Представлены результаты измерения электрических характеристик сварного шва.

Ключевые слова: сварка меди со сталью, удельное электрическое сопротивление металла, дефекты сварного шва, электрические характеристики сварного шва.

Чигарьов В.В., Гавриш П.А., Пікуз В.С. *Дослідження залежності питомого електричного опору від дефектів зварного шва міді зі сталлю при втомних випробуваннях. Представлені результати досліджень залежності зміни питомого електричного опору від наявності дефектів і тріщин зварного шва. Показано можливість при порівнянні значень питомого електричного опору металу без дефектів та дефектного шва визначати якість зварного шва. Наведено результати вимірювань електричних характеристик зварного шва.*

Ключові слова: зварювання міді зі сталлю, питомий електричний опір металу, дефекти зварного шва, електричні характеристики зварного шва.

V.V. Chigarev, P.A. Gavrish, V.S. Pikuz. *Study the of dependence of the electric resistivity of the defects of the copper to steel welds at fatigue tests. The results of research of dependence of change of specific electric resistance are presented from the presence of defects and cracks of the weld-fabricated guy-sutures. Possibility is shown at comparison of values of specific electric resistance of metal defect-free and imperfect metal to determine quality of the weld-fabricated guy-sutures. The results of measuring of electric characteristics of welded joint were presented.*

Keywords: welding of copper with steel, specific electric resistance of metal, defects of the weld-fabricated guy-sutures, electric characteristics of welded joints.

Постановка проблемы. Повышенные требования к качеству деталей и узлов выполненных путем сварки меди со сталью связаны с тяжелыми режимами температурного нагружения деталей [1]. Такие сварные узлы как доменные фурмы, кристаллизаторы для электрошлаковой сварки и переплава выполнены путем сварки металлов медь-медь, а также медь-сталь [2, 3]. Работоспособность сварных швов меди со сталью зависит от условий эксплуатации и качества выполнения сварочной технологии. Тяжелые условия эксплуатации: высокая температура, загазованность рабочей атмосферы, циклические условия термического нагружения, причем рабочие температуры составляют 400...800 К приводят к преждевременному выхода из строя таких сварных узлов [4, 5]. Таким образом, сварные швы разнородных металлов испытывают температурные напряжения и деформации, которые вызываются разностью теплофизических свойств меди и железа и нестационарностью термического цикла сварки. Степень развития ус-

¹ д-р техн. наук, профессор, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет» г. Мариуполь

² канд. техн. наук, с.н.с, ГВУЗ «Донбасская государственная машиностроительная академия», г. Краматорск

³ магистр, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет» г. Мариуполь

талостных повреждений в металле при термоциклическом нагружении зависит от многих факторов [6, 7]:

- от состояния сварного шва после сварки (остаточные напряжения и деформации, охрупчивание сварного шва);
- от наличия концентраторов напряжений в сварном шве (дефекты сварки, конструктивная форма соединения);
- изменение свойств металла околошовной зоны (структурные, фазовые, теплофизические).

Таким образом, для предупреждения преждевременного выхода из эксплуатации высоконагруженных сталемедных сварных узлов, необходимо дополнительное исследование указанных факторов и определение возможности предупреждения внезапного отказа конструкции (разрушения).

При контроле качества металла применяется электропотенциальный метод определения наличия трещин [8, 9]. Однако при регистрации сигналов существенное влияние оказывает вариация магнитной проницаемости металла и они не чувствительны к изменению магнитной проницаемости металла. И особую сложность вызывает оптимизация процесса измерений и интерпретация полученных результатов, причем выявляются уже сформированные трещины, кроме того, особое значение имеет возможность предупреждения появления трещин и дефектов.

Анализ последних исследований и публикаций. Вопросам повышенным требованиям к качеству деталей и узлов выполненных путем сварки меди со сталью связаны с тяжелыми режимами температурного нагружения деталей занимались В.Р. Рябов, Д.М. Рабкин, Р.С. Курочко.

Цель статьи - исследовать зависимость удельного электрического сопротивления от наличия дефектов и трещин в сварном шве меди со сталью.

Изложение основного материала. Усталостные испытания образцов сварных швов меди со сталью выполняли согласно ГОСТ 25.505-85 при температуре 323 К и нагрев до 723 К, причем при проведении испытаний исследовали изменение удельного электрического сопротивления в образцах через 50 циклов нагрева и охлаждения.

Степень чистоты металла с физической точки зрения определяют отношением электрических сопротивлений [8]:

$$\rho = R_{273} / R_{4,2K} , \quad (1)$$

где R_{273} и $R_{4,2K}$ - сопротивления проводника при температурах 273 и 4,2 К.

Причем отношение сопротивлений чистой меди чистоты 99,999 составляет 1000. Согласно исследований [10], экспериментальный материал содержит многочисленные данные по измерению сопротивления в металлах, вызванному наличием в них примесей и дефектов. То есть, наличие примесей и дефектов в сварном шве меди со сталью можно определить измерением сопротивления участка металла. По изменению электрического сопротивления можно сделать вывод об усталостных повреждениях в металле, об изменении структуры металла и о начале формирования трещин.

Измерение сопротивления образцов вырезанных из сварного шва (рис. 1) осуществлялось по мостовой схеме четырехконтактным методом.



Рис. 1 – Сварной шов сталь-медь

В качестве измерителя тока применяли одинарно-двойной мост постоянного тока Р-239 кл.т.0,5, пятидекадный, одинарно-двойной, с блоком встроенных образцовых сопротивлений, 1 и 0,001 диапазон измерений от 10^{-6} ом до 10Мом. Гальванометр М2032М(цена деления $4,2 \cdot 10^{-7}$ А/дел) применялся как нуль-индикатор. В этом случае удельное электросопротивление рассчитывается по формуле (2):

$$\rho = (U / I)(S / d), \quad (2)$$

где U - напряжение, В;
I - ток, А;
S - площадь сечения образца, м²;
d - расстояние между контактами, м.

На (рис. 2) приведены зависимости изменения удельного электросопротивления в 3-х опытах. Причем изменения удельного электросопротивления связаны с образованием и ростом трещины от усталостных циклических напряжений. Металл деформируется имея структуру пересыщенного твердого раствора железа в меди, а рост удельного электрического сопротивления вызван увеличением уровня свободной энергии при образовании областей нового состава (сегрегационных скоплений типа зон Гинье-Престона). Такие зоны представляют собой субмикроскопические объемы твердого раствора железа с резко повышенной концентрацией растворенного компонента, сохраняющие решетку растворителя. Причем это не новая фаза, а участок исходного раствора, обогащенный растворенным элементом [11, 12].

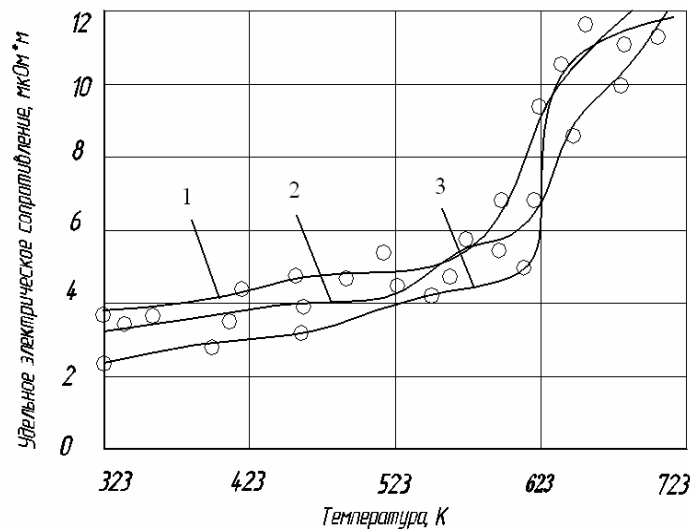


Рис. 2 – Зависимость удельного электрического сопротивления образца от наличия трещины

При росте температуры термические усталостные напряжения приводят к разрушению опытных образцов 1, 2, 3. При концентрации железа до 10% в сварном шве распределение его по шву крайне неравномерно, при содержании до 40% наблюдается дендритное строение (рис. 3).

Железо в сварном шве при сварке меди со сталью повышает механические свойства сварного шва, в частности способствует измельчению зерна и усиливает межатомные связи в кристаллической решетке. Однако такая упрочняющая фаза ограничивает в металле шва развитие пластической микродеформации при термоциклировании, благодаря наличию жесткого каркаса из дисперсных частиц на границах но и облегчает при этом разрушение металла. Таким образом, несмотря на упрочняющее действие железа в сварном шве - снижается усталостная прочность сварного шва при термоциклировании.

Металлографические исследования процесса разрушения в диапазоне температур 323...723 К подтверждают отрицательное воздействие железа на технологическую прочность металла шва при сварке. Чем выше содержание железа, тем швы более склонны к горячим трещинам. При больших концентрациях железа выделения упрочняющей фазы образуют жесткий каркас, резко уменьшающий деформационную способность тела зерна, что способствует разви-

тию интеркристаллической трещины. На (рис. 4) приведена фотография разрушенного образца по зоне сплавления.

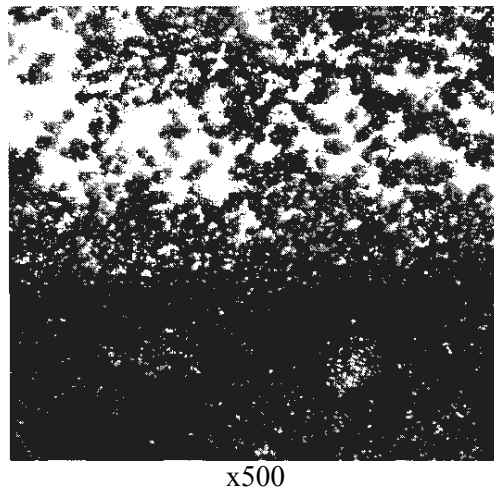


Рис. 3 – Сварной шов меди со сталью

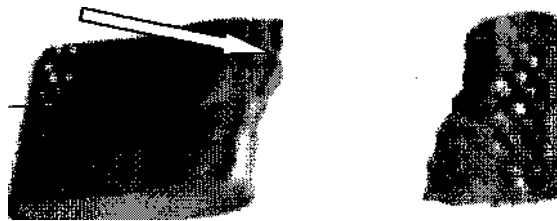


Рис. 4 – Разрушение образца по зоне сплавления

Выводы

1. Определяя удельное электрическое сопротивление образцов при термоциклировании можно определить момент развития усталостной трещины и прогнозировать разрушение образца.
2. Дефекты и трещины в сварном шве повышают удельное электрическое сопротивления металла.
3. При повышении содержания железа в сварном шве повышается предел прочности металла, но снижается предел усталостной прочности при термоциклировании.
4. Совместное исследование результатов термоциклирования сварных швов меди со сталью и исследование удельного электросопротивления позволяет предсказать момент начала развития трещины и прогнозировать момент разрушения образца.

Список использованных источников:

1. Гавриш П.А. Исследование термического воздействия на материалы для доменных фурм / П.А. Гавриш, И.В. Серов., В.Д. Кассов // Оборудование и технология термической обработки металлов и сплавов, междунар. науч.-техн. конф. тез. докл. / ННЦ ХФТИ. - Харьков, 2005. - С. 181-185.
2. Чигарев В.В. Проблемы повышения качества сварки меди со сталью / В.В. Чигарев, В.А. Ключев, П.А. Гавриш // Сварочное производство в машиностроении: перспективы развития. матер. I междунар. науч.-техн. конф. - Краматорск : ДГМА, 2009. - С. 34.
3. Чигарев В.В. Образование трещин при сварке доменных фурм / В.В. Чигарев, В.А. Ключев, П.А. Гавриш // Науковий вісник ДДМА, 2009. - №2(5E). - С.27-30. ISSN 1995-4794 (online) Режим доступу: http://www.nbu.gov.ua/e-journals/vddma/2009_2/nomer.htm.
4. Электрошлаковые печи / Под ред. Патона Б.Е., Медовара Б.И. - Киев.: Наукова думка,

1976. - 414 с.
5. Гавриш П.А. Автомат для зварювання доменної фурми / П.А. Гавриш, В.Д. Кассов, В.В. Чигарев, И.В. Серов // Вісник Тернопільського державного технічного університету, 2005. - №4. - т.10. - С. 96-101.
 6. Рябов В.Р. Сварка разнородных металлов и сплавов / В.Р. Рябов, Д.М. Рабкин, Р.С. Курочки, Л.Г. Стрижевская. - М.: Машиностроение, 1984. - 239 с.
 7. Гуревич С.М. Справочник по сварке цветных металлов. - К.: Наукова думка, 1981. - 608 с.
 8. Шкатов П.Н. Электропотенциальный контроль качества кольцевых сварных соединений / П.Н. Шкатов, А.В. Водовозов // Тез. Докл. Российской НТК "Не разрушающий контроль и диагностика" - М.: РОНКТД, 1999. - т.1. - С. 157.
 9. Трещиномер электропотенциальный 281М. (online) Режим доступа <http://www.biolight.ru/item.php?id=0006921>.
 10. Павлов В.Д. Физика твердого тела : Учеб. для вузов / П.В. Павлов, А.Ф. Хохлов. - 3-е изд., стер. - М. : Высшая школа, 2000. - 493 с. - ISBN 5-06-003770-3.
 11. Чигарев В.В. Исследование взаимодействия компонентов ванны при сварке деталей металлургического оборудования / И.В. Серов, П.А. Гавриш, М.А. Турчанин, В.Д. Кассов // Захист металургійних машин від поломок: Зб. наук. пр. - Вип.8. - Маріуполь, 2005. - С. 214-223.
 12. Гавриш П.А. Исследование концентрационных границ существования стабильных и метастабильных равновесий при сварке меди со сталью // V Міжнар. конф. «Стратегія якості у промисловості і освіті», Дніпропетровськ - Варна, 2009. - Т. I. - С. 101-103.

Bibliography:

1. Gavrish P.A. The study of thermal effects on materials for blast lances / P.A. Gavrish, I.V. Serov, V.D. Kassov // Equipment and technology of heat treatment of metals and alloys, Intern. scientific and engineering. Conf. mes. Reports. / KIPT. - Kharkov, 2005. - P. 181-185.
2. Chigarev V.V. Problems of improving the quality of welding copper to steel / V.V. Chigarev, V.A. Kluev, P.A. Gavrish // Welding in mechanical engineering: prospects for development. Mater. I Intern. scientific and engineering. Conf. - Kramatorsk : DSEA, 2009. - P.34.
3. Chigarev V.V. The formation of cracks in the welding domain lances / V.V. Chigarev, V.A. Kluev, P.A. Gavrish // Naukova visnyk DDMA, 2009. - № 2 (5E). - P.27-30. (Online) access mode: http://www.nbu.gov.ua/e-journals/vddma/2009_2/nomer.htm.
4. Elektroshlakovye oven / E.d. Paton, Medovar B.I. - Kiev. Naukova Dumka, 1976. - 414 p.
5. Gavrish P.A. Automatic zvaryuvannya domennoї Fourmies / P.A. Gavrish, V.D. Kass, V.V. Chigarev, I.V. Serov // News Ternopshskogo sovereign tehchnogo universitetu, 2005. - № 4. - V.10. - P. 96-101.
6. Ryabov V.R. Welding of dissimilar metals and alloys / V.R. Ryabov, D.M. Rabkin, L.G. Strizhevskaya. - M.: Mechanical Engineering, 1984. - 239 p.
7. Gurevich S.M. Handbook of welding non-ferrous metals. - Kiev: Naukova Dumka, 1981. - 608 p.
8. Shkatov P.N. Electropotential quality control of circular welded joints / P.N. Shkatov, A.V. Vodovozov // Proc. Abstracts. Russian conference on "Non-Destructive Testing and Diagnostics" - M.: RSNTTD, 1999. - Volume 1. - P. 157.
9. Treschinomer electropotential 281М. (Online) access mode [http //:](http://www.biolight.ru/item.php?id=0006921)
10. Pavlov V.D. Solid State Physics: Textbook. for high schools / P.V. Pavlov, A.F. Khokhlov. - 3rd ed., Sr. - M.: Higher School, 2000. - 493 s. - ISBN 5-06-003770-3.
11. Chigarev V.V. Investigation of the interaction of components in the welding bath details of metallurgical equipment / I.V. Serov, P.A. Gavrish, M.A. Turchanin, V.D. Cass // Zahist metalurpynih machine breakdowns od: Zb.nauk.pr. - Vip.8. - Mariupol, 2005. - P. 214-223.
12. Gavrish P.A. The study of the concentration limits of the existence of stable and metastable equilibria in welding copper to steel // V Mizh cum. conf "Straterya yakosti at promislovosti i osviti" Dnshropetrovsk-Varna, 2009. - Т. I. - P. 101-103.