

<https://doi.org/10.26160/2474-5901-2023-35-60-64>

## КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА КОНТАКТНОЙ ТОЧЕЧНОЙ СВАРКИ МЕДИ И АЛЮМИНИЯ НЕРАЗРУШАЮЩИМ МЕТОДОМ

*Аметов И.Э., Ягьяев А.К., Хохлов А.В.*

*Крымский инженерно-педагогический университет им. Ф. Якубова,  
Симферополь, Россия*

**Ключевые слова:** контактная точечная сварка, дефекты, неразрушающие методы контроля, технологический процесс, повышение качества, сварные точки.

**Аннотация.** Для стабилизации качества выполнения контактной точечной сварки меди и алюминия применен один из неразрушающих методов контроля, а именно – микрофотографирование поверхности. Фотофиксация рельефа поверхности материалов проводилась с помощью электронного металлографического микроскопа 4-XV с камерой «Levenhuk» увеличением в 250-600 раз, что позволило адекватно и оперативно оценивать все дефекты и недостатки процесса сварки. Быстрое осуществление неразрушающего метода контроля помогло быстро корректировать технологический процесс и повысить качество выполняемой работы.

## QUALITY CONTROL OF RESISTANCE SPOT WELDING COPPER AND ALUMINUM BY NON-DESTRUCTIVE METHOD

*Ametov I.E., Yagyaev A.K., Khokhlov A.V.*

*Crimean Engineering Pedagogical University named after F. Yakubov,  
Simferopol, Russia*

**Keywords:** resistance spot welding, defects, non-destructive control methods, technological process, quality improvement, spot welds.

**Abstract.** To stabilize the quality of resistance spot welding, one of the non-destructive control methods was used, namely, microphotography of the surface. Photofixation of the relief of the surface of the materials was carried out using a 4-XV electron metallographic microscope with a «Levenhuk» camera with a magnification of 250-600 times, which made it possible to adequately and promptly assess all defects and shortcomings of the welding process. The rapid implementation of a non-destructive testing method helped to quickly adjust the technological process and improve the quality of the work performed.

**Анализ литературы.** Контактная сварка является одной из наиболее распространенных и быстро развивающихся технологических процессов для получения прочных соединений различных конструкционных материалов в широком диапазоне толщин и сечений [1].

В течение 21 века 30-40% всех сварных соединений в промышленности выполняется технологией контактной сварки. Высокая степень механизации и автоматизации указанной технологии является существенным преимуществом в современном производстве [2].

Методами контактной сварки успешно упрочняют стыки практически всех известных конструкционных материалов, таких как стали низкоуглеродистые и легированные, сплавы жаропрочные и коррозионностойкие, а также сплавы легких цветных металлов (алюминиевые, магниевые, титановые и другие).

Точечная сварка является одной из самых употребляемых видов контактной сварки. Данный подвид указанной технологии широко используется в строительстве, производстве автомобилей, авиации, железнодорожных вагонов, военной технике и даже в радиоэлектронике. В современных конструкциях с использованием металлов и сплавов до 70-90% прочности обеспечивается сварными точками и швами. При этом диапазон свариваемой толщины варьируется от нескольких микрометров до 30 мм [3].

**Постановка проблемы.** Для качественного контроля и анализа сварочного процесса его следует разделить на ряд этапов, в каждом из которых изучить физические процессы, протекающие при образовании и перераспределении химических связей в используемых материалах, что и определяет свойства полученного сварного шва [2-4]. Поскольку все этапы контактной сварки характеризуются малым временным диапазоном их протекания, параллельно сопровождающимся большими величинами сварочных токов и значительным усилием деформации деталей на сжатие, то, следовательно, указанный сварочный процесс протекает с интенсивным увеличением температуры, что вызывает, точечное либо ограниченное оплавление металла, а также его значительную пластическую деформацию. Иногда рост температуры не сопровождается местным плавлением материалов, поскольку металлы (сплавы) обладают высокой теплопроводностью. В данной ситуации образование межатомных связей осуществляется взаимопроникновением материалов друг в друга в твердом состоянии, без присутствия жидкой фазы.

**Цель работы.** Освоить один из неразрушающих методов контроля качества точечной контактной сварки и показать эффективность применения данного метода для стабилизации качества выполнения сварных точек.

### **Обсуждение результатов**

Физико-химические процессы, протекающие при контактной сварке, подразделяют на основные и сопутствующие [3-6], в зависимости от их роли на каждом этапе.

К основным относят следующие этапы (рис. 1):

- 1) пластическая деформация;
- 2) нагрев и оплавление металла;
- 3) формирование поверхностей при сварке как результат электромагнитного и физического перемешивания, расплавленного или деформированного материала;

4) остывание материалов и формирование стыка.

Сопутствующими процессами считают следующие:

- 1) тепловая деформация материалов;
- 2) влияние роста температуры и деформации на свойства контакта;
- 3) процессы массопереноса с электрода на материал;
- 4) образование остаточного напряжения вокруг сварочного контакта.

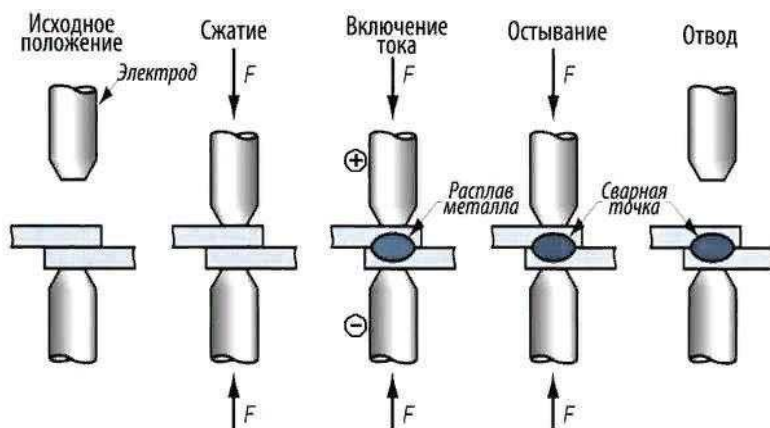


Рис. 1. Этапы процесса контактной сварки

Окончательный диагноз качества выполненного процесса сварки выполняют различными методами, которые применяют в соответствии с технологией согласно ТУ (техническим условиям) на свариваемое изделие. Диагноз качества устанавливается разрушающими или неразрушающими методами. Ранее, на протяжении десятилетий, в качестве основного неразрушающего метода контроля сварочного соединения применялся такой способ, как внешний осмотр. Сварные точки, шов и стык осматривали невооруженным глазом или с помощью лупы двух, пяти или семикратного увеличения [5].

Современные технологии позволяют применять другие, более совершенные неразрушающие методы контроля сварных точек и соединений. Одним из главных методов такого рода является микрофотографирование поверхности с большим увеличением, чем лупа. Относительно небольшое пятно сварочного контакта при рассматриваемом способе сварки позволило нам применить для контроля качества сварочных точек металлографический микроскоп с камерой большой разрешающей способности. Дополнительное преимущество используемого тандема микроскопа и камеры в том, что оптическое устройство напрямую может быть подключено к ноутбуку или компьютеру и, таким образом, результат микрофотографирования сразу виден на мониторе.

Применение подобного оборудования позволило нам быстро замечать мельчайшие дефекты сварочных точек, даже при первом их проявлении, когда дефект еще относительно мал, даже в размере сварочного пятна. В свою очередь, быстрое выявление еще только намечающихся дефектов позволило быстро стабилизировать работу аппаратуры, либо выявлять износ электрода больше допустимой нормы.

Таким образом, быстрая диагностика качества выполнения сварочной точки, помогла в отработке правильных технологических циклов на разных материалах и при различных режимах работы с ними.

Кроме приведенных дефектов, сварные точки проверяют на соответствие технологии, определенной конструкторской документацией на

изделие, либо техническими условиями материалов и изделий [6]. Сварные точки не должны иметь перекосов по горизонтали и смещений заготовок. Контролируют качество и самих точек. Сварная точка должна быть округлой или предусмотренной технологическим проектом другой формы.

Распределение тепла по толщине материалов определяется по закону Джоуля-Ленца, который можно записать в виде:  $Q = I^2 R t = I U t$ . Согласно параметрам теплового распределения и плотности тока, подбираются электроды для выполнения процесса. Электроды для точечной контактной сварки подбираются по следующему основному параметру – стойкости, то есть способности сохранять исходную форму, размеры и свойства в условиях работы [6].

В качестве материала для электродов при точечной контактной сварке используют так называемые бронзы, представляющие жаропрочные медные сплавы [7-8]. Согласно ГОСТам медь легируют такими металлами, как хром, цирконий, кадмий, никель, титан, бериллий, и одним из неметаллов – кремнием.

Основной материал бронз – медь, высокое содержание которой обеспечивает высокую проводимость и большую плотность тока материала электрода. А легирующие элементы повышают механическую прочность и жаростойкость. Для выполнения процесса контактной точечной сварки нами были выбраны такие материалы, как медные ленты и алюминиевые полосы, побранные с таким расчетом, чтобы значения электропроводности материалов были максимально близки.

Ранее в электротехнике медь и алюминий сваривали стык в стык, без накладок. Это приводило к тому, что сечение медных шин всегда имело избыточное значение и, следовательно, вело к перерасходу этого ценного металла. В двадцать первом веке эти материалы, особенно небольших сечений, стали соединять контактной точечной сваркой. При этом алюминиевые шины в среднем в полтора раза толще, чем медные. Для их сварки можно применять относительно недорогие электроды марки БрХ, обладающие значением электропроводности, близким к чистой меди и довольно высокой твердостью.

**Выводы.** Полученные результаты по своевременному выявлению дефектов сварочных точек на указанных материалах позволили нам заблаговременно предсказывать износ электродов, а также быстро подбирать оптимальные значения тока и механических усилий сварочной установки. Использованный нами неразрушающий метод контроля сварочных точек при выполнении работ по свариванию медных и алюминиевых шин показал свою эффективность и заслуживает применения в сварочном электротехническом производстве.

### Список литературы

1. Катаев Р.Ф., Милютин В.С., Близник М.Г. Теория и технология контактной сварки: учебное пособие. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2015. – 144 с.

2. Зорин Н.Е., Зорин Е.Е. Материаловедение сварки. Сварка плавлением: учебное пособие. – Санкт-Петербург: Лань, 2018. – 164 с.
3. Банов М.Д. Технология и оборудование контактной сварки: учебник. – М.: Академия, 2009. – 244 с.
4. Брежнева А.В., Яночкин В.А. Контактная сварка и ее основные способы // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. – 2018. – Т. 1. – С. 414-416.
5. Кучук-Яценко С.И., Жемчужников Г.В., Казымов Б.И. Влияние дефектов контактной стыковой сварки на прочность соединений при низких температурах // Автоматическая сварка. – 1980. – № 12. – С. 1-3.
6. Климов А.С., Анциборов А.Н. Технология и оборудование контактной сварки. Сборник задач: учебное пособие. – Вологда: Инфра-Инженерия, 2022. – 100 с.
7. ГОСТ 18175-78. Бронзы безоловянные, обрабатываемые давлением. Марки. – 13 с.
8. ГОСТ 2584-86. Провода контактные из меди и ее сплавов. Технические условия. – 11 с.

### References

1. Kataev R.F., Milyutin V.S., Bliznik M.G. Theory and Technology of Contact Welding: Tutorial. – Yekaterinburg: Ural State University, 2015. – 144 p.
2. Zorin N.E., Zorin E.E. Material science of welding. Fusion welding: a training manual. – Saint-Petersburg: Lan', 2018. – 164 p.
3. Banov M.D. Technology and equipment of contact welding: textbook. – M.: Academy, 2009. – 244 p.
4. Brezhneva A.V., Yanochkin V.A. Contact welding and its main methods // Actual problems of aviation and cosmonautics. 2018, vol. 1, pp. 414-416.
5. Kuchuk-Yatsenko S.I., Zhemchuzhnikov G.V., Kazymov B.I. Effect of defects in contact butt welding on the strength of joints at low temperatures // Automatic Welding. 1980, no. 12, pp. 1-3.
6. Klimov A.S., Antsiborov A.N. Technology and equipment of contact welding. Problem Collection: Tutorial. – Vologda: Infra Engineering, 2022. – 100 p.
7. GOST 18175-78. Non-tin bronzes processed by pressure. Grades. – 13 p.
8. GOST 2584-86. Wires made of copper and its alloys. Technical conditions. – 11 p.

<b>Аметов Исмаил Энверович</b> – кандидат химических наук, доцент кафедры электромеханики и сварки	<b>Ametov Ismail Enverovich</b> – candidate of chemical sciences, associate professor of the Department of electromechanics and welding
<b>Ягьяев Амет Камилевич</b> – магистрант	<b>Yagyaev Amet Kamilovich</b> – Graduate student
<b>Хохлов Александр Витальевич</b> – магистрант	<b>Khokhlov Alexander Vitalievich</b> – graduate student
i.ametov@kipu-rc.ru	

*Received 05.05.2023*