

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ КОНТАКТНОЙ ТОЧЕЧНОЙ СВАРКИ
ОЦИНКОВАННЫХ СТАЛЕЙ С ЦЕЛЬЮ СОХРАНЕНИЯ ПОКРЫТИЯ**

Коротеев А.О.

Научный руководитель – ст. преп. Емельянов С.Н.

Белорусско-Российский университет, г. Мозырь

В настоящее время контактная точечная сварка широко используется в автомобилестроении при изготовлении элементов кузовов и кабин автомобилей. В большинстве случаев, для обеспечения коррозионной стойкости изделия в процессе эксплуатации, применяются стали с защитными цинкосодержащими покрытиями. К данным сварным узлам предъявляются высокие требования по прочности и коррозионной стойкости в условиях динамических нагрузок и действия агрессивной среды. Основными проблемами при сварке таких сталей являются низкие прочностные показатели сварных соединений, а также повышенный износ сварочных электродов вследствие загрязнения их рабочих поверхностей. Проведённый обзор отечественной и зарубежной литературы показал, что сведения по выбору основных параметров контактной точечной сварки таких сталей носят противоречивый характер. В большинстве случаев, значения усилия сжатия сварочных электродов, времени протекания и силы сварочного тока выбирают ориентируясь на параметры сварки аналогичных сталей без покрытия. Исследователи не уделяли должного внимания вопросу сохранения защитного покрытия в зоне сварки. Их интересовали вопросы обеспечения стабильности сварочного процесса, недопущения непроваров, и повышение стойкости сварочных электродов.

Большинство существующих способов контактной точечной сварки оцинкованных сталей направлено на максимальное разрушение и вытеснение цинкового покрытия из зоны сварки, с целью уменьшения его влияния на качество и прочность сварного соединения. Резко снижающиеся при этом антикоррозионные свойства восстанавливают после сварки грунтовкой поверхностей, их покраской и технологическими приёмами, снижающими экономические показатели процесса изготовления изделий и его эффективность [1,2].

До настоящего времени не определено влияние параметров режима сварки на эксплуатационные свойства соединений и работоспособность сварочных электродов. Не полностью исследованы и процессы, происходящие в зоне контакта электродов и изделия, не исследованы вопросы сохранения антикоррозионных свойств покрытия в местах сварки, что, несомненно, расширило бы область использования высокопроизводительного процесса контактной сварки.

Зависимость сопротивления контакта от падения напряжения, согласно теории электрических контактов, называется « r - U » характеристикой и даёт представление о вполне определенных для данного сочетания металлов характерных значениях падения напряжения размягчения U_p и напряжения плавления U_m [4].

Это позволяет предположить, что для поддержания на желательном уровне температуры металла в контакте электрод-деталь важно, чтобы фактическое падение напряжения не превышало напряжения размягчения цинкового покрытия. Соблюдение этого условия будет способствовать уменьшению деформации цинкового покрытия в месте контакта электродов и деталей и его выдавливания к периферии электродов. Для проверки предположения о возможности сохранения покрытия при определенных значениях электрических параметров нами были построены « r - U » характеристики для двух случаев сварки: при нагреве материала покрытия до температуры, выше

температуры его плавления и при нагреве материала покрытия до температуры размягчения.

Результаты металлографических исследований и коррозионных испытаний сварных соединений, а также анализ результатов осциллографирования процессов сварки показали, что в тех случаях, когда на контактах электрод-деталь напряжение было ниже напряжения размягчения U_p , вытеснение цинкосодержащего покрытия было незначительным (не превышало величины 20% от толщины покрытия), а сварные соединения обладали требуемой коррозионной стойкостью.

Таким образом, нами определено, что для сохранения покрытия необходимо, чтобы фактическое падение напряжения не превышало напряжение размягчения ($U_{\text{св}} < 0,9U_p$).

При помощи математических преобразований, используя закон Ома и зависимость силы сварочного тока от толщины свариваемых пластин, нами было определено, что значение сопротивления в контакте $r_{\text{св}}$ не должно превышать величину, определяемую по эмпирической формуле:

$$r_{\text{св}} = \frac{0,082U_p}{\sqrt{\delta}}, \quad (1)$$

где $r_{\text{св}}$ - сопротивление контакта электрод-деталь, мОм;

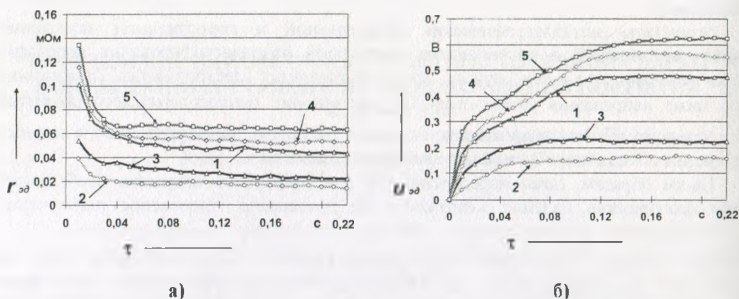
δ - толщина свариваемого металла, мм;

U_p - значение напряжения размягчения материала защитного покрытия, В.

Нами была исследована динамика изменения сопротивления контакта электрод-деталь в процессе сварки при использовании электродов с различной формой рабочей поверхности. Применяемые электроды поделены на пять типов. Характеристики электродов приведены в таблице:

Таблица- Характеристики сварочных электродов

Тип электрода	Характеристика электрода
а)	Цилиндрический с конической заточкой, с рабочей поверхностью диаметром $d_p = 5\text{мм}$
б)	Цилиндрический комбинированный, с плоской рабочей поверхностью диаметром $d_p = 60\text{мм}$
в)	Цилиндрический, с плоской рабочей поверхностью $d_p = 20\text{мм}$
г)	Колпачковый, с рабочей частью $d_p = 5\text{мм}$
д)	Цилиндрический с конической заточкой, со сферической рабочей поверхностью радиусом $R_p = 50\text{мм}$



1 - электрод типа а); 2 - электрод типа б); 3 - электрод типа в);
4 - электрод типа г); 5 - электрод типа д)

Рисунок 1 – Изменения сопротивления участка электрод-деталь $R_{сд}$ и падения напряжения на участке электрод-деталь $U_{сд}$ в процессе протекания сварочного тока при точечной сварке ($\tau_{св} = 0,2с$)

Полученные данные свидетельствуют о том, что при сварке с использованием электродов с плоской рабочей поверхностью наблюдается меньшее значение сопротивления в контакте электрод-деталь (рисунок 1 а), что способствует снижению тепловыделения на указанном участке.

Кривые изменения значения падения напряжения на участке электрод-деталь при точечной сварке электродами с различной формой рабочей поверхности представлены на рисунке 1 б).

Анализируя полученные данные, можно сказать, что во всех случаях, кроме сварки электродами с плоской рабочей поверхностью и увеличенной площадью контакта, на завершающем этапе сварки значение падения напряжения в контакте превышает значение падения напряжения плавления цинкового покрытия ($U_{пл} = 0,3В$).

Значение контактного сопротивления в процессе сварки зависит не только от фактической площади контакта, но и от деформационной способности свариваемых пластин. Целесообразно рассмотреть эти факторы совместно. Для этого нами был проведен ряд экспериментов, целью которых было установить влияние толщины свариваемой детали на величину контактного сопротивления участка электрод-деталь. Учитывая ранее полученные результаты, эксперименты не проводились для электродов типа з) и д), так как при их использовании наблюдаются наибольшие значения сопротивления на рассматриваемом участке.

Полученные результаты показывают, что с уменьшением толщины свариваемых листов наблюдается уменьшение как начального, так и конечного значений контактных сопротивлений. Для всех толщин листов наблюдается тенденция снижения контактного сопротивления на участке электрод-деталь при увеличении площади контактной поверхности электрода. Также, анализируя полученные данные можно сказать, что для деталей с меньшей толщиной стабилизация контактного сопротивления наступает раньше, чем для более толстых.

В результате математической обработки полученных экспериментальных данных и используя формулу (1) нами была определена эмпирическая зависимость для определения необходимой площади контактной поверхности сварочного электрода:

$$S_p = \exp \sqrt{58,2 - \frac{285U_p - 56\delta}{\sqrt{\delta}}}, \quad (2)$$

где S_p - площадь рабочей поверхности сварочного электрода, мм²;

δ - толщина свариваемого металла, мм;

U_p - значение напряжения размягчения материала защитного покрытия, В.

Характер изменения сопротивления в контакте электрод-деталь, рассмотренный ранее, показывает, что сопротивление имеет максимальное значение в начальный период протекания сварочного тока [7]. Чтобы не допустить нагрева покрытия до температуры выше температуры размягчения и сохранить, таким образом, покрытие в зоне электрод-деталь, необходимо, чтобы сварочный ток $I_{св}$ не превышал следующей величины:

$$I_{св} = \frac{0,9U_p}{r_{св}}, \quad (3)$$

где $I_{св}$ - сила сварочного тока, А;

U_p - напряжение размягчения цинкового покрытия, В;

$r_{св}$ - сопротивление участка электрод-деталь, Ом.

Чтобы обеспечить снижение величины сварочного тока в начальный момент времени протекания сварочного тока на однофазных машинах, обычно используемых для сварки сталей с покрытиями, необходимо осуществлять модуляцию сварочного тока [5, 6, 8]. Проведенные нами эксперименты показывают, что с увеличением времени модуляции изменяется наклон кривой действующего значения сварочного тока, что приводит к более медленному нагреву зоны сварки. В том числе участка электрод-деталь. На основании установленного характера изменения сопротивлений в зоне контакта электрод-деталь предложена эмпирическая зависимость, позволяющая определить время модуляции сварочного тока:

$$\tau_{мод} = \exp\left(\frac{0,59}{\sqrt{\delta}} - 2,89\right) \quad (4)$$

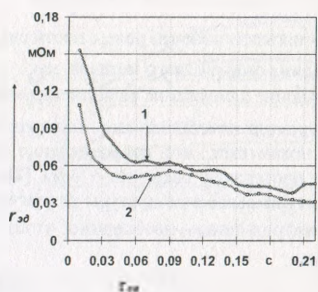
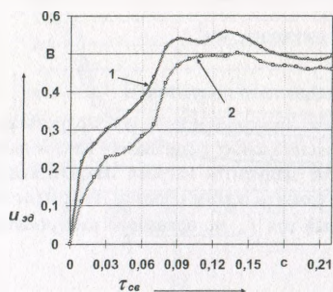
где $\tau_{мод}$ - время модуляции сварочного тока, с;

δ - толщина свариваемой детали, мм.

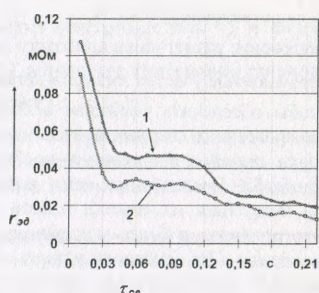
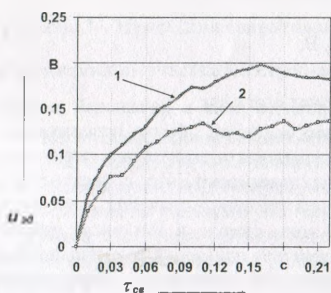
Время модуляции, определенное по формуле 4 позволяет исключить появление в начальный период сварки в зоне контактов сварочных электродов и деталей напряжения $u_{св} > U_p$.

Дополнительным фактором, влияющим на изменение падения напряжения на участке электрод-деталь, является охлаждение электродов до низких температур. Нами был проведен ряд экспериментов с целью сравнение значений падения напряжения и сопротивления в контакте электрод-деталь при сварке оцинкованных сталей с использованием интенсивного охлаждения электродов со сваркой в обычных условиях (рисунок 2). В качестве охладителя нами был использован жидкий CO_2 . Температура электродов в момент начала сварки составляла $-45..-50^\circ C$. Эксперименты проводились для электродов типа *а)*, *б)* и *в)*.

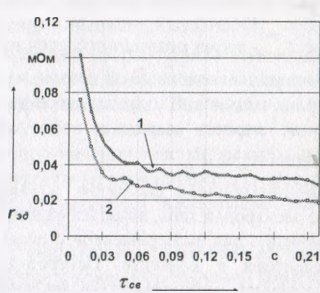
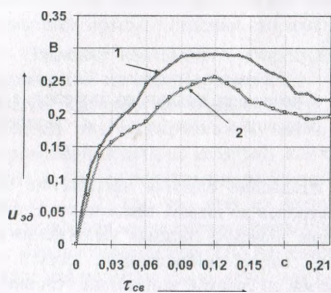
Анализируя полученные результаты можно сделать вывод, что при использовании интенсивного охлаждения наблюдается снижение значений падения напряжения и сопротивление контакта электрод-деталь. Таким образом, в качестве фактора, снижающего значение падения напряжения на рассматриваемом участке и благоприятно влияющего на сохранение покрытия можно считать интенсивное охлаждение электродов жидкостями с низкой температурой замерзания.



а)



б)



в)

1— сварка в обычных условиях, 2— сварка с применением интенсивного охлаждения электродов

Рисунок 2— Изменение падения напряжения и сопротивления участка электрод-деталь при сварке электродами типов а), б), и в) с применением интенсивного охлаждения электродов

На основании проведенных исследований предложен способ сварки оцинкованных сталей, в основу которого положены циклограммы для контактной сварки (рисунок 3).

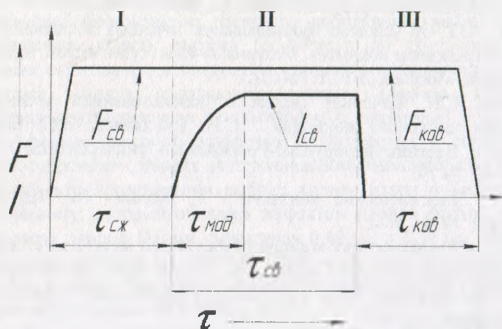


Рисунок 3– Циклограмма процесса сварки оцинкованных сталей с сохранением покрытия

Его использование позволяет достичь снижения толщины покрытия в местах контактов электродов с изделием не более чем на 20%. Сварка проводится в три стадии: стадия предварительного сжатия, стадия протекания модулированного импульса сварочного тока, стадия проковки.

На основании экспериментальных исследований впервые определены требования к параметрам технологического процесса, обеспечивающим сохранение цинкового покрытия:

- поддержание падения напряжения $u_{\text{к}}$ на контактах электродов с изделием не выше $0,9U_p$;

- с целью уменьшения тепловыделения в контактах электродов с деталями сопротивление контактов электродов и деталей ($r_{\text{к}}$, мОм) не должно превышать величины, определяемой по формуле:

$$r_{\text{к}} = \frac{0,082U_p}{\sqrt{\delta}}$$

- для снижения сопротивления на начальном этапе сварки необходимо применять модулированную форму импульса тока;

- применение электродов с плоской формой рабочих поверхностей, с площадью рабочей поверхности электрода (S_e , мм²):

$$S_e = \exp \sqrt{58,2 - \frac{285U_p - 56\delta}{\sqrt{\delta}}}$$

Предложен способ сварки оцинкованных сталей, в основу которого положена разработанная циклограмма процесса сварки оцинкованной стали и математические зависимости по выбору основных параметров режима сварки. Использование его позволяет достичь снижения толщины покрытия в местах контактов электродов с изделием не более чем на 20%.

Список литературы

1. Коротеев, А.О. Исследование процесса и определение параметров контактной точечной сварки сталей с цинковыми покрытиями. Материалы 45-й студенческой научно-технической конференции. Могилев, 2009 г. с. 102-104.
2. Коротеев, А.О. Об условиях формирования точечных соединений оцинкованных сталей с сохранением покрытия. Материалы 46-й студенческой научно-технической конференции. Могилев, 2010. с. 98-101.
3. Емельянов, С.Н. Точечная сварка с использованием медной фольги для сохранения цинкового покрытия / С.Н. Емельянов, В.П. Березиненко, А.О. Коротеев // Вестник Белорусско-Российского университета. Могилев, 2009.– №4(25). – С.76-79.
4. Хольм, Р. Электрические контакты / Р. Хольм.- М.: Из-во Иностранной литературы, 1961.- 464с.
5. Gedeon. S.A Resistance spot welding of galvanized steel. Part I. Material variations and process modifications/ Gedeon S.A., Eagar T.W.// Metallurgical translation , volume 17b, december 1986, с.879-885. Реферативный журнал «Сварка» №2.- 1988.– реферат 2.63.398
6. Gedeon. S.A. Resistance spot welding of galvanized steel. Part II. Mechanismus of spot weld nugget formation / Gedeon S.A., Eagar T.W. // Metallurgical translation , volume 17b, december 1986, с.887-901. Реферативный журнал «Сварка» №3.- 1988.– реферат 3.63.472
7. Гуляев, А.И. Технология точечной и рельефной сварки сталей в массовом производстве / А.И. Гуляев. – М.: Машиностроение. 1978. – 246 с.: ил.
8. Технология и оборудование контактной сварки: учеб. для маш. вузов / Б.Д. Орлов [и др.]: под общ. ред. Б.Д. Орлова. – М.: Машиностроение, 1986. – 352 с.: ил.

УДК 661.882

ОСОБЕННОСТИ НАВЕДЕНИЯ ЭДС В СПЛАВЕ НИКЕЛИДА ТИТАНА

Буркина О.А.¹, Рубяник В.В.^{1,2}, Рубяник В.В. мл.^{1,2}

¹ ГНУ «Институт технической акустики НАН Беларуси», г. Витебск

² УО «Витебский государственный технологический университет», г. Витебск

Классические термоэлектрические явления на границе раздела между различными металлами являются объектом пристального внимания в течение длительного времени. Это связано с тем, что они находят широкое практическое применение в различных областях техники. Наряду с классическими термоэлектрическими явлениями, такими как эффекты Пельтье, Зеебека, Томпсона, возможны и термоэлектрические явления, наблюдаемые в однородных металлических образцах. К таким, например, относится возникновение устойчивой во времени электродвижущей силы при локальном нагреве неоднородно деформированного металла [1], возникновение ЭДС при нестационарном нагревании однородного металлического участка разомкнутой электрической цепи, вызванной движением границы раздела фаз в материале, названной термокинетической [2]. Важностью исследования поведения термоЭДС в металлах, связана с тем, что она обладает уникальным свойством: реагирует на возмущения решеткой вблизи дефекта не только величиной, но и знаком эффекта, при этом несет информацию не только о рассеивающей способности дефекта, но и о механизме рассеяния. Кроме того, термоЭДС проявляет достаточно высокую чувствительность и к упругим напряжениям. Это создает потенциальные возможности для использования термоЭДС в качестве инструмента для изучения и контроля структурных превращений в ходе различного