

УДК 621.791.763.1

С. Н. Емельянов, канд. техн. наук, В. А. Попковский, канд. техн. наук, доц.,  
А. А. Катъкало, канд. техн. наук, доц., А. О. Коротеев

## О ВЫБОРЕ ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМА ПРИ КОНТАКТНОЙ ТОЧЕЧНОЙ СВАРКЕ ОЦИНКОВАННЫХ СТАЛЕЙ С СОХРАНЕНИЕМ ПОКРЫТИЯ

Определены условия сохранения защитного цинкового покрытия в местах контактирования электродов с деталью при контактной точечной сварке оцинкованных сталей. Исследован характер изменения сопротивления и падения напряжения в контакте электрода с деталью при использовании электродов с различной формой рабочей поверхности и предложены эмпирические формулы для выбора параметров режима сварки.

### *Введение*

К сварным соединениям, выполненным на сталях с защитными цинкосодержащими покрытиями, предъявляются высокие требования по прочности и коррозионной стойкости в условиях динамических нагрузок и действия агрессивной среды. В большинстве случаев значения параметров режима сварки выбирают, ориентируясь на параметры сварки аналогичных сталей без покрытия. В проведенных ранее исследованиях не уделялось должного внимания вопросу сохранения защитного покрытия в зоне сварки. В них рассматривались вопросы обеспечения стабильности сварочного процесса, недопущения непроваров, повышения стойкости сварочных электродов, поэтому 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 [1, 2]. Резко снижающиеся при этом антикоррозионные свойства восстанавливают после сварки грунтовкой поверхностей их покраской и используют технологические приемы, снижающие экономические показатели процесса изготовления изделий и его эффективность. До настоящего времени не исследованы процессы, происходящие в зоне контакта электродов и изде-

лия, и аспекты сохранения антикоррозионных свойств покрытия в местах сварки, которые, несомненно, расширили бы область использования высокопроизводительного процесса контактной сварки.

Объектом данного исследования являются сварные соединения, выполненные контактной сваркой на сталях толщиной 0,5...2,0 мм с защитными цинкосодержащими покрытиями. Цель – разработка параметров технологического процесса контактной сварки оцинкованных сталей, обеспечивающих сохранение защитного покрытия, его антикоррозионных свойств и требуемых прочностных показателей сварных соединений.

### *Методика исследования*

Исследования проводились на машинах для контактной сварки МТ-3201, МТ-1617. В процессе эксперимента непосредственно измерялись падения напряжений на участках электрод–электрод  $U_{ээ}$  и электрод–деталь  $U_{эд}$ . Косвенным образом регистрировалась величина сварочного тока посредством использования датчика тока ДТПХ-32000, основанного на эффекте Холла. Датчик выполнен в виде выносного зонда, устанавливаемого на нижнем электроде контактной машины таким образом, чтобы силовые линии магнитного поля пересе-

кали его поверхность под прямым углом. Тарировка датчика ДТПХ-32000 осуществлялась по результатам измерения напряжения холостого хода на электродах сварочной машины и измерения параметров тока и напряжения в первичной цепи сварочного трансформатора машины. Для записи и обработки сигналов авторами использовано устройство NI USB 6009, содержащее аналого-цифровой преобразователь, осуществляющий дискретизацию аналогового сигнала.

### Результаты исследований

*Выбор допустимых значений падения напряжения и сопротивления в зоне контактов электродов и изделия.* Зависимость сопротивления контакта от падения напряжения, согласно теории электрических контактов, называется  $r$ - $u$ -характеристикой, которая дает представление о вполне определенных для данного сочетания металлов характерных значениях напряжения размягчения  $U_p$  и напряжения плавления  $U_{пл}$ . Напряжение размягчения  $U_p$  и напряжение плавления  $U_{пл}$  являются характеристиками материала покрытия, связанными с изменениями его предела текучести  $\sigma_m$ , площади контактной поверхности  $S_k$  при нагреве и, как следствие, сопротивления в зоне контакта электродов с деталями  $r_{\text{эо}}$  [3].

Для поддержания на желательном уровне температуры металла в контакте электрод-деталь, не приводящей к уменьшению  $\sigma_m$  ниже уровня действующих напряжений в указанной зоне, 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 определённых зна-

чениях электрических параметров были построены  $r$ - $u$ -характеристики для двух случаев сварки: при нагреве материала покрытия до температуры выше температуры его плавления (рис. 1, а) и при нагреве материала покрытия до температуры его размягчения (рис. 1, б).

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 ниже напряжения размягчения  $U_p$  (для исследуемых покрытий  $U_p = 0,17$  В), вытеснение цинко-содержащего покрытия незначительно (не превышало величины 20 % от толщины покрытия), а сварные соединения обладали требуемой коррозионной стойкостью. Следовательно, для сохранения покрытия необходимо, чтобы фактическое падение напряжения не превышало напряжения размягчения ( $U_{\text{эо}} \leq 0,9U_p$ ).

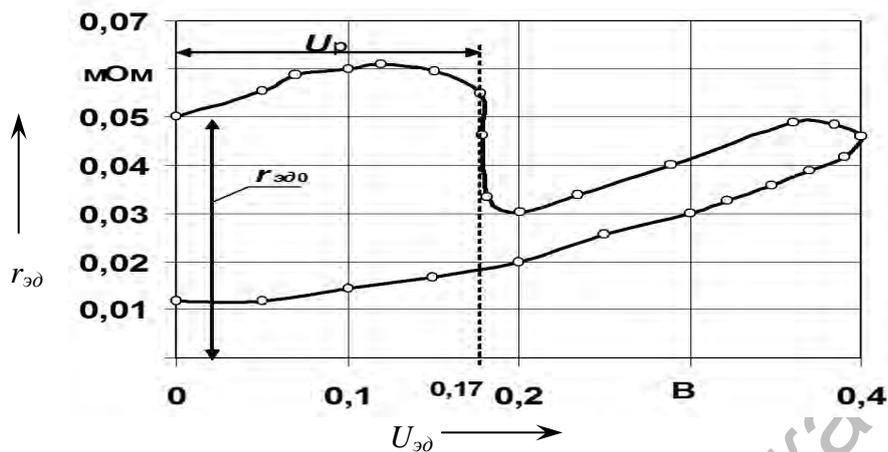
Величина и изменение сопротивления контакта  $r_{\text{эо}}$  при сварке определяют условия тепловыделения в зоне контакта электрод-деталь. На начальной стадии протекания сварочного тока на долю контактного сопротивления приходится до 30 % тепловложения [4].

Значение сопротивления в контакте электрод-деталь можно определить по закону Ома

$$r_{\text{эо}} = \frac{U_{\text{эо}}}{I_{\text{св}}}. \quad (1)$$

На основании экспериментальных измерений сварочного тока и металлографических исследований макрошлифов сварных соединений сталей с защитными цинковыми покрытиями была установлена корреляционная зависимость силы сварочного тока от толщины свариваемых пластин  $\delta$  (рис. 2) с учётом требуемых размеров литой зоны  $d_y$ , которая по ГОСТ 15878-79 выбирается в зависимости от толщины свариваемых пластин  $\delta$ .

а)



б)

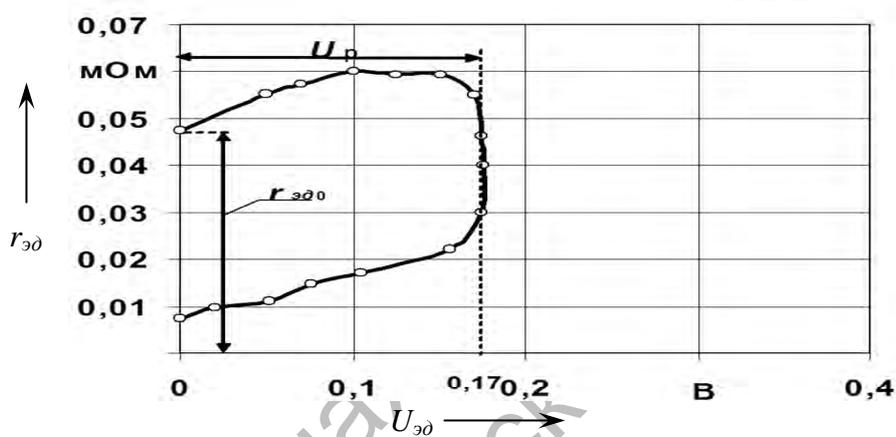


Рис. 1. Типичные  $r$ - $u$ -характеристики контакта электрод-деталь: а – при разрушении покрытия; б – при сохранении покрытия

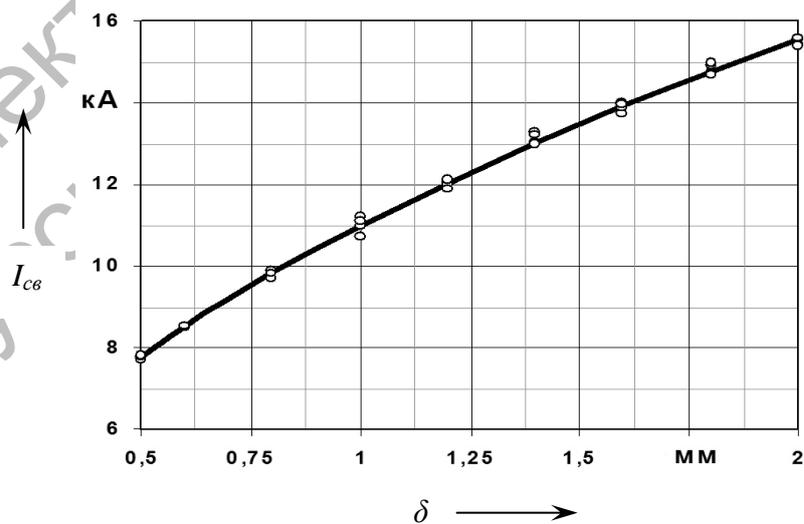


Рис. 2. Зависимость величины сварочного тока от толщины свариваемых пластин

Аппроксимирующая зависимость (см. рис. 2) была получена в результате экспериментального измерения сварочного тока (согласно плану эксперимента, количество дублирующих опытов – 7, количество уровней – 8). При этом был охвачен весь диапазон исследуемых толщин металла.

При помощи интерполяции методом наименьших квадратов была определена аппроксимирующая функция. При этом были рассмотрены различные аппроксимирующие функции (линейные, логарифмические, показательные). Представленная функция (2), обеспечивающая наибольший коэффициент корреляции, удобна для практического применения:

$$I_{ca} = 11\sqrt{\delta}. \quad (2)$$

С учетом ранее определенного значения падения напряжения в контакте электрод–деталь

$$U_{\partial} = 0,9U_p. \quad (3)$$

Подставляя формулы (2) и (3) в формулу (1), получаем максимально до-

пустимое значение контактного сопротивления:

$$r_{\partial} = \frac{0,082U_p}{\sqrt{\delta}}, \quad (4)$$

где  $r_{\partial}$  – сопротивление контакта электрод–деталь, мОм;  $\delta$  – толщина свариваемого металла, мм;  $U_p$  – значение напряжения размягчения материала защитного покрытия, В; 0,082 – эмпирический коэффициент,  $\frac{\text{мм}^{\frac{1}{2}}}{\text{А}}$ .

*Выбор формы и размеров рабочей поверхности сварочного электрода.* Для определения влияния формы и размеров рабочей поверхности сварочных электродов на изменение сопротивления и падения напряжения в контакте электрод–деталь в процессе сварки проведены исследования при использовании электродов с различной формой рабочей поверхности. Применяемые электроды поделены на пять типов. Характеристики электродов приведены в табл. 1.

Табл. 1. Характеристики сварочных электродов

Тип электрода	Характеристика электрода
<i>А</i>	Цилиндрический с конической заточкой, с рабочей поверхностью диаметром $d_p = 5$ мм
<i>Б</i>	Цилиндрический комбинированный, с плоской рабочей поверхностью диаметром $d_p = 60$ мм
<i>В</i>	Цилиндрический, с плоской рабочей поверхностью $d_p = 20$ мм
<i>Г</i>	Колпачковый, с рабочей частью $d_p = 5$ мм
<i>Д</i>	Цилиндрический с конической заточкой, со сферической рабочей поверхностью радиусом $R_p = 50$ мм

Полученные данные свидетельствуют о том, что использование электродов с плоской рабочей поверхностью при сварке приводит к снижению значений сопротивления и падения напряжения в контакте электрод–деталь (рис. 3), что способствует уменьшению тепловыделения на указанном участке.

Анализируя представленные дан-

ные, можно отметить, что во всех случаях, кроме сварки электродами с плоской рабочей поверхностью и увеличенной площадью контакта (электроды типов *Б* и *В*, кривые 2 и 3), на завершающем этапе сварки значение падения напряжения в контакте превышает значение напряжения плавления цинкового покрытия ( $U_{nl} = 0,3$  В) и материал по-

крытия разрушается. Однако при использовании электродов типа В (кривая 3) напряжения выше, чем напряжение размягчения покрытия ( $U_p = 0,17$  В), и

цинк вследствие резкого повышения пластических свойств выдавливается к периферии электродов.

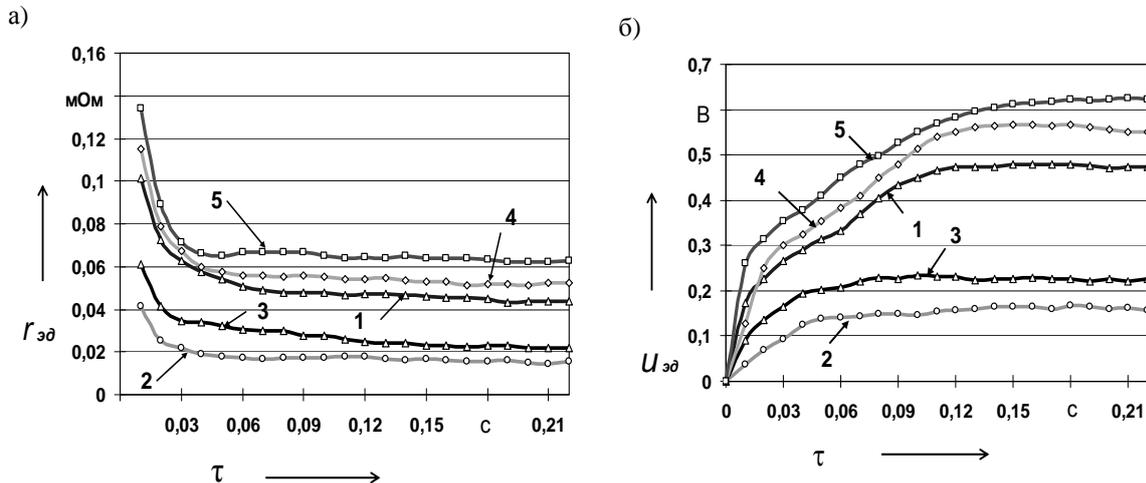


Рис. 3. Изменения сопротивления участка электрод-деталь  $r_{эд}$  (а) и падения напряжения на участке электрод-деталь  $U_{эд}$  (б) в процессе протекания сварочного тока при точечной сварке: 1 – электрод типа А; 2 – электрод типа В; 3 – электрод типа В; 4 – электрод типа Г; 5 – электрод типа Д

Значение контактного сопротивления в процессе сварки зависит не только от фактической площади контакта, но и от деформационной способности свариваемых пластин. Целесообразно рассмотреть данные факторы совместно. Для этого были проведены эксперименты, целью которых было установление влияния толщины свариваемой детали на величину контактного сопротивления участка электрод-деталь (рис. 4). Учитывая ранее полученные результаты, исследования не проводились для электродов типа Г и Д, т. к. при их использовании наблюдаются наибольшие значения сопротивлений на рассматриваемом участке.

С уменьшением толщины свариваемых листов происходит уменьшение как начального, так и конечного значений контактных сопротивлений. Для всех толщин листов от 0,5 до 2 мм наблюдается тенденция снижения кон-

тактного сопротивления на участке электрод-деталь при увеличении площади контактной поверхности электрода. Также, анализируя полученные данные, можно отметить, что для деталей с меньшей толщиной стабилизация контактного сопротивления наступает раньше. На основании полученных экспериментальных данных определены зависимости контактного сопротивления от площади рабочей поверхности электрода для указанных толщин свариваемых пластин (рис. 5).

Интерполяцией методом наименьших квадратов была установлена зависимость значения сопротивления в контакте электрод-деталь от площади рабочей поверхности электрода  $S$ , и толщины свариваемых деталей  $\delta$  с коэффициентом корреляции 0,98:

$$r_{эд} = 0,0166 + 0,0161\sqrt{\delta} - 0,00028\ln^2 S, (5)$$

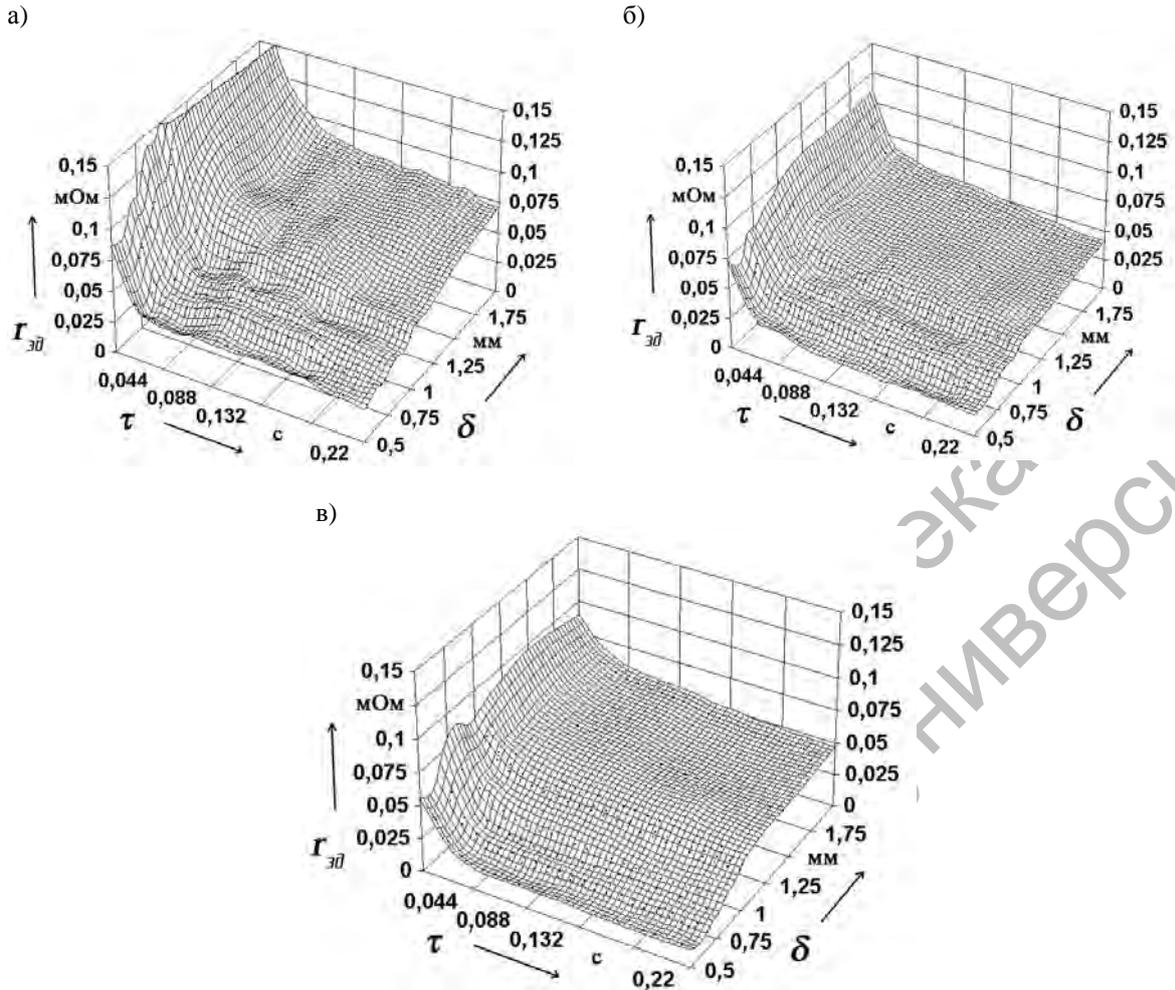


Рис. 4. Изменение сопротивления участка электрод–деталь  $r_{эд}$  в процессе протекания сварочного тока от толщины свариваемых листов: а – электрод типа А; б – электрод типа В; в – электрод типа В

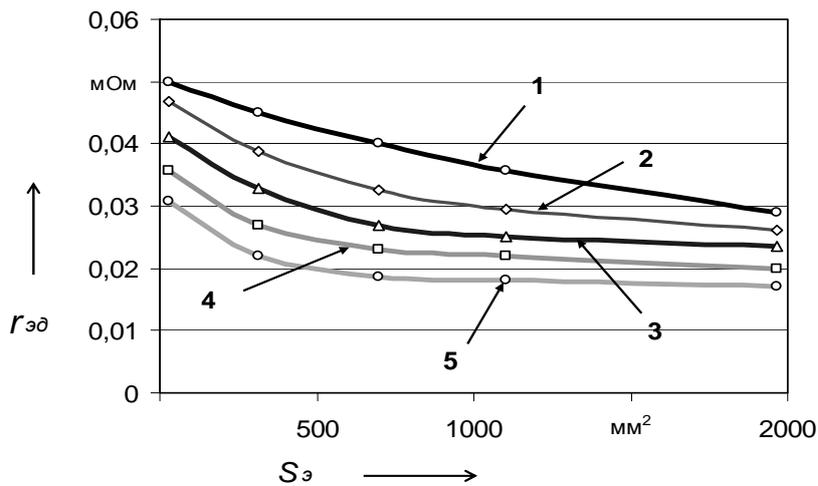


Рис. 5. Изменение сопротивления участка электрод–деталь  $r_{эд}$  в зависимости от площади контактной поверхности электрода  $S_{э}$  для различных толщин свариваемых листов  $\delta$ : 1 –  $\delta = 1,91$  мм; 2 –  $\delta = 1,42$  мм; 3 –  $\delta = 0,98$  мм; 4 –  $\delta = 0,82$  мм; 5 –  $\delta = 0,53$  мм

Приравняв значения сопротивления  $r_{эд}$ , полученные по формулам (4) и (5), имеем

$$0,0166 + 0,0161\sqrt{\delta} - 0,00028 \ln^2 S_s = \frac{0,082U_p}{\sqrt{\delta}}. \quad (6)$$

Выразив из формулы (6) площадь рабочей поверхности сварочного электрода  $S_s$ , получим

$$S_s = \exp \sqrt{58,2 - \frac{285U_p - 56\delta}{\sqrt{\delta}}}, \quad (7)$$

где  $\delta$  – толщина свариваемого металла, мм;  $U_p$  – значение напряжения размягчения материала защитного покрытия, В; 285 – эмпирический коэффициент,  $\frac{9}{\text{мм}^2}$ ; 56 – эмпирический коэффициент,  $\frac{\text{В}}{\text{мм}^{7/2}}$ ; 58,2 – эмпирический коэффициент, мм.

### Заключение

Результаты проведенных исследований показали, что для сохранения цинкового покрытия на лицевых поверхностях изделий при контактной сварке необходимо, соблюдение следующих условий:

- падение напряжений на участках контактов электродов с изделием должно составлять не более  $0,9 U_p$  ( $U_p$  – напряжение размягчения, В) материала покрытия;
- сопротивление контакта  $r_{эд}$ , мОм, не должно превышать величины, определяемой по формуле (4)

S. N. Emeljanov, V. A. Popkovsky,  
A. A. Katkalo, A. O. Koroteyev  
About the choice of mode parameters at  
resistance spot welding of zinc  
steels with covering preservation

The condition of preservation of protective zinc covering in places of electrode contacts with a detail at resistance spot welding of zinc steels has been defined. The character of resistance change and voltage failure in contact of the electrode with the detail at use of electrodes with the various forms of the working surface has been studied and empirical formulas for choosing the parameters of the welding mode have been offered.

$$r_{эд} = \frac{0,082U_p}{\sqrt{\delta}}.$$

Установлено, что при контактной точечной сварке для сохранения покрытия целесообразно применять электроды с плоской формой рабочей поверхности. При точечной и рельефной сварке с использованием электродов увеличенных размеров площадь рабочей поверхности сварочного электрода  $S_s$ , мм<sup>2</sup>, выбирается в соответствии с уравнением (7)

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

Использование разработанных технологических рекомендаций по выбору параметров процесса контактной сварки сталей с цинкосодержащими покрытиями позволяет сохранить покрытие, увеличить срок службы сварочных электродов и улучшить экологические условия работы сварщиков.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гуляев, А. И. Технология точечной и рельефной сварки сталей в массовом производстве / А. И. Гуляев. – М. : Машиностроение, 1978. – 246 с. : ил.
2. Вакатов, А. В. Особенности формирования сварных соединений при контактной точечной сварке оцинкованной стали / А. В. Вакатов // Сварочное производство. – 2001. – № 2. – С. 20–21.
3. Хольм, Р. Электрические контакты / Р. Хольм. – М. : Иностран. лит-ра, 1961. – 464 с.
4. Гилевич, В. А. Особенности образования соединений при точечной сварке оцинкованной стали / В. А. Гилевич // Автоматическая сварка. – 1973. – № 8. – С. 18–21.

Белорусско-Российский университет  
Материал поступил 17.01.2011