

УДК 621.791.763.2

А. Ю. Поляков, С. М. Фурманов, А. А. Степанов, М. С. Колобова, Д. А. Денисов

РАЗРАБОТКА ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА КОНТАКТНОЙ РЕЛЬЕФНОЙ СВАРКИ КРОНШТЕЙНА ЛИФТА ПО КОЛЬЦЕВОМУ РЕЛЬЕФУ

UDC 621.791.763.2

A. Y. Polyakov, S. M. Furmanov, A. A. Stepanov, M. S. Kolobova, D. A. Denisov

DEVELOPMENT OF A POWER-SAVING TECHNOLOGICAL PROCESS OF RESISTANCE PROJECTION WELDING OF LIFT BRACKETS BY USING ANNULAR PROJECTIONS

Аннотация

Разработан высокоэффективный энергосберегающий технологический процесс контактной рельефной сварки кронштейнов лифтов по кольцевым рельефам, позволяющий за счет двухэтапного дозированного введения электрической энергии в межэлектродную зону уменьшить в 10 раз энергопотребление контактной машины в каждом цикле сварки при обеспечении приемлемого уровня прочности сварных соединений.

Ключевые слова:

контактная рельефная сварка, кронштейн лифта, стандартный болт, кольцевой рельеф, система автоматического управления, двухступенчатый импульс тока, дозированный ввод энергии, энергосберегающий режим, спецэлектрод, цинковое покрытие.

Abstract

A highly effective power-saving technological process has been developed to weld lift brackets by means of resistance projection welding with annular projections which allows for 10-times reduction of power consumption in the welding machine during each welding cycle due to a two-step dosed input of electric power into the interelectrode zone, with an acceptable level of strength of welded joints being provided.

Key words:

resistance projection welding, lift bracket, standard bolt, annular projection, automatic control system, two-step current pulse, dosed power input, power-saving mode, special electrode, zinc coating.

На Могилевском заводе лифтового машиностроения (Республика Беларусь) при изготовлении пассажирских и грузовых лифтов используются кронштейны, состоящие из двух деталей: пластины с отверстием (материал – сталь 08кп, толщина – 3 мм, наружный диаметр 64 мм, диаметр отверстия – 10 мм) и стандартного болта М10 × 24 (материал – сталь 35, толщина шляпки – 6 мм). Годовая программа выпуска кронштейнов – 200000 шт.

На заводе кронштейны производят вручную способом механизированной дуговой сварки в углекислом газе плавящимся электродом. При этом болт приваривается к пластине не по всему периметру, а в двух местах – двумя короткими угловыми швами длиной по 8...10 мм каждый (рис. 1).

Изготовление таких кронштейнов дуговой сваркой является трудоемким процессом. При этом в ряде случаев не удается обеспечить плотность прилега-

ния пластины к шляпке болта по всей площади контакта, из-за чего в процессе прижатия кронштейна к стенке лифта пневматическим инструментом происходит продавливание жидкой резины,

добавляемой между кронштейном и стенкой, в зазоры, что недопустимо и является браком. Эстетический вид кронштейнов с неровными валиками швов неудовлетворительный.



Рис. 1. Объект исследований – кронштейн лифта (в): а – пластина с отверстием; б – стандартный болт М10 × 24

При производстве кронштейнов авторами было предложено заменить механизированную дуговую сварку в углекислом газе на контактную рельефную сварку (КРС), характеризующуюся повышенной производительностью, экологичностью и отсутствием следов сварки [1, 2]. При этом планировалось, что использование кольцевого рельефа обеспечит требование герметичности формируемого соединения. Второй целью была разработка высокоэффективного энергосберегающего режима КРС кронштейна.

В ходе экспериментов были приняты следующие допущения: вместо стандартного болта М10 × 24 из стального прутка (материал – сталь 20) изготавливались круглые заготовки диаметром 16 мм и высотой 6,1 мм, имитирующие шляпку болта (рис. 2); размер кольцевого рельефа выбирался исходя из возможностей токарно-фрезерной обработки нижней поверхности шляпки болта: внутренний диаметр рельефа $d_{вн} = 11,6$ мм, наружный диаметр $d_n = 16$ мм, высота рельефа $h_p = 1,1$ мм (рис. 3).



Рис. 2. Шляпки болтов с кольцевыми рельефами

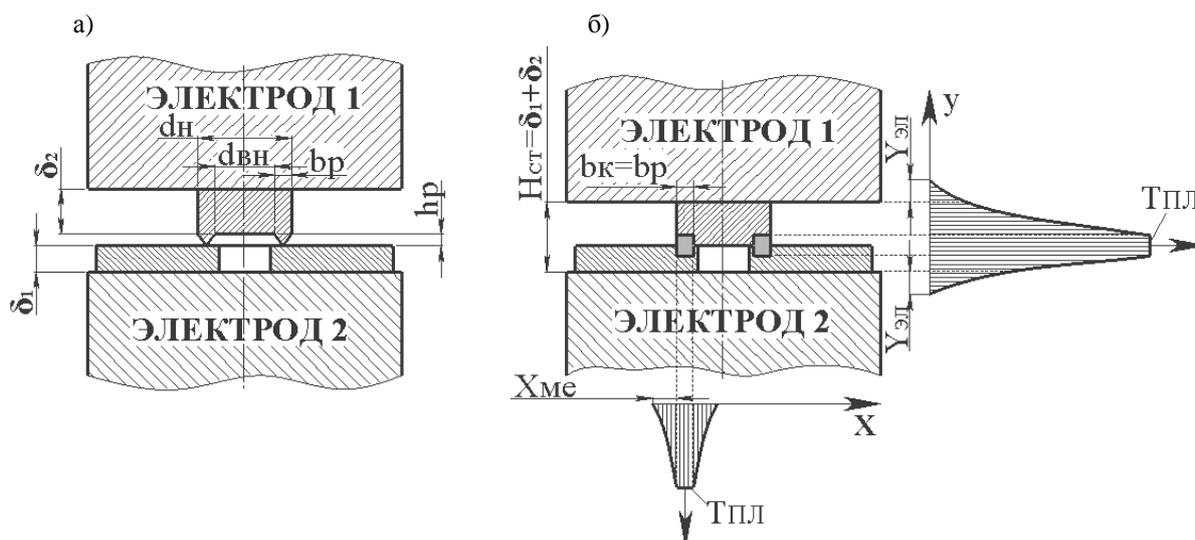


Рис. 3. Геометрия шляпки и пластины кронштейна перед сваркой (а) и схема расчета уравнения теплового баланса соединения (б)

Далее составлялось уравнение теплового баланса [2] (см. рис. 3).

На рис. 3: δ_1 и δ_2 – толщина пластины и шляпки болта соответственно; b_p – ширина рельефа; $H_{ст}$ – высота условно нагреваемого столбика металла; b_k – ширина контакта «деталь – деталь»; $X_{ме}$ – ширина зоны теплоотвода в пластину; $Y_{эл}$ – ширина зоны теплоотвода в электроды; $T_{пл}$ – температура плавления деталей.

В результате расчета уравнения теплового баланса с учетом рекомендаций в технической литературе был определен режим сварки данного соединения, принимаемый за базовый (рис. 4, а). Циклограмма базового режима сварки кронштейнов с приложением постоянного усилия сжатия электродов и крутонарастающим импульсом сварочного тока представлена на рис. 4, б [1, 2].

Для осуществления КРС кронштейнов использовалась машина контактной точечной сварки МТ-3201 с регулятором цикла сварки РКС-801 (рис. 5, а) и плоские электроды-насадки увеличенного диаметра (рис. 5, б). Сваренные образцы испытывались на статическое продавливание шляпки болта пуансоном в матрицу (рис. 5, в). Ис-

пользовалась испытательная машина РГМ-1000 (рис. 5, г).

При базовом режиме сваривалось восемь образцов. В результате прочностных испытаний установлено, что минимальное усилие разрушения образцов составило 19,29 кН. Характер разрушения – вязкий вырыв без видимых участков твердой фазы [3], что свидетельствует об объемном взаимном расплавлении металла деталей и наличии литого ядра (рис. 6, а).

Далее варьировали жесткость базового режима КРС кронштейнов (рис. 6, б...з) и установили оптимальное соотношение «ток – длительность протекания тока» (см. рис. 6, в).

Далее была проведена оптимизация полученного режима КРС кронштейнов по усилию сжатия электродов (рис. 7, а...е).

В результате определен скорректированный базовый режим КРС кронштейнов (табл. 1), сварка на котором позволила увеличить усилие разрушения сварного соединения при продавливании с 19,3 до 25,8 кН. Характер разрушения – вязкий вырыв без видимых участков твердой фазы (см. рис 7, г).

В табл. 1 $t_{св}$ – длительность протекания

кания сварочного тока; $Q_{ЭЭ}$ – электрическая энергия, вводимая в межэлектродную зону; $F_{СВ}$ – усилие сжатия электродов; $\tau_{СЖ}$ – длительность предварительного сжатия электродов; $\tau_{КОВ}$ – длительность проковки.

Далее применили экспериментальную установку (рис. 8, а), в основе

которой лежит система автоматического управления процессом КРС (рис. 8, б) на базе аналого-цифрового устройства сбора данных NATIONAL INSTRUMENTS и среды графического программирования LABVIEW, созданная и запатентованная ранее.

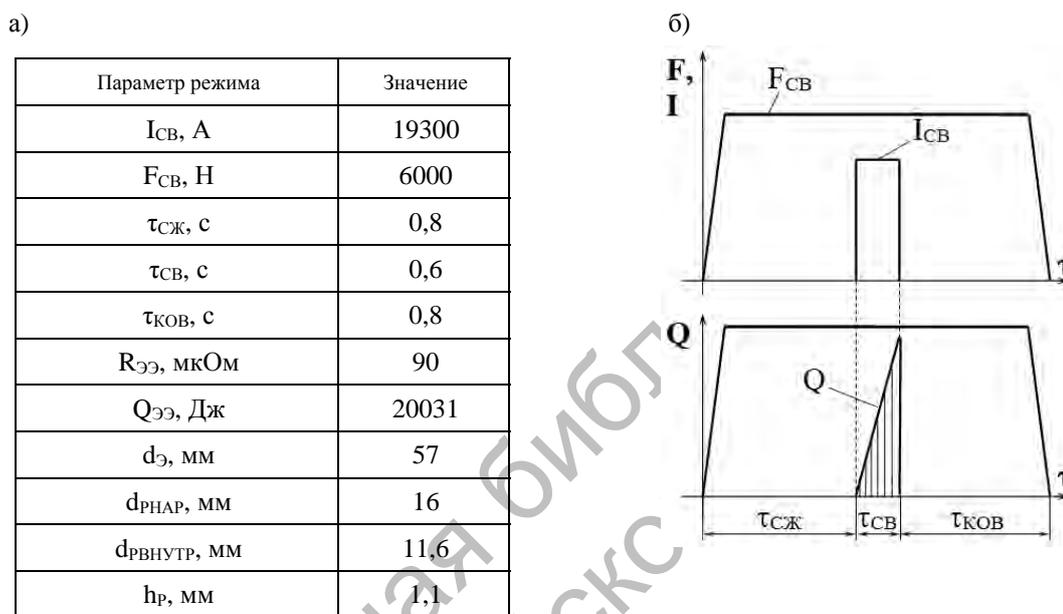


Рис. 4. Параметры базового режима КРС кронштейна лифта (а) и циклограмма процесса сварки (б)

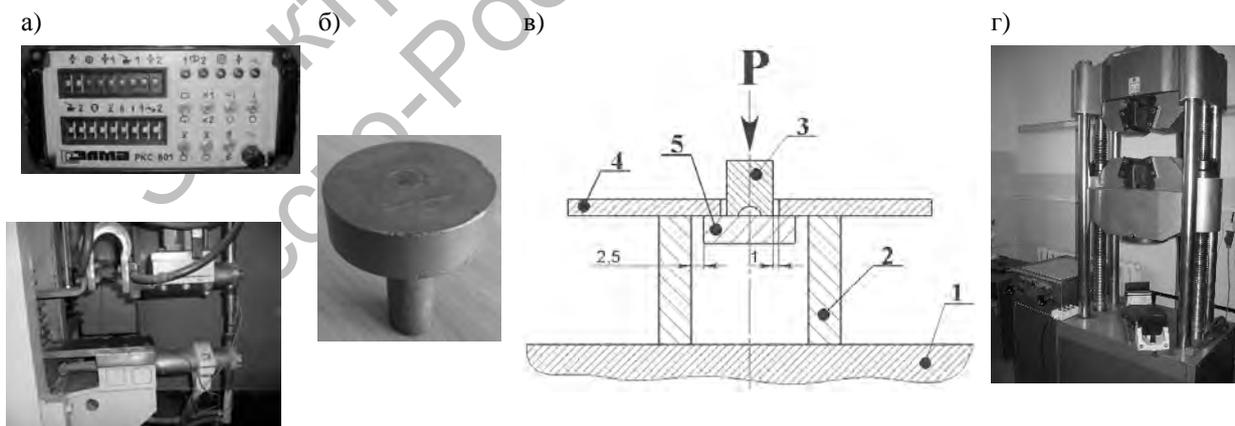


Рис. 5. Машина МТ-3201 (а), электрод с увеличенной контактной поверхностью (б), схема испытания на статическое продавливание (в) и испытательная машина РГМ-1000 (г): 1 – неподвижная плита; 2 – оправка; 3 – пуансон; 4 – пластина с отверстием; 5 – шляпка болта

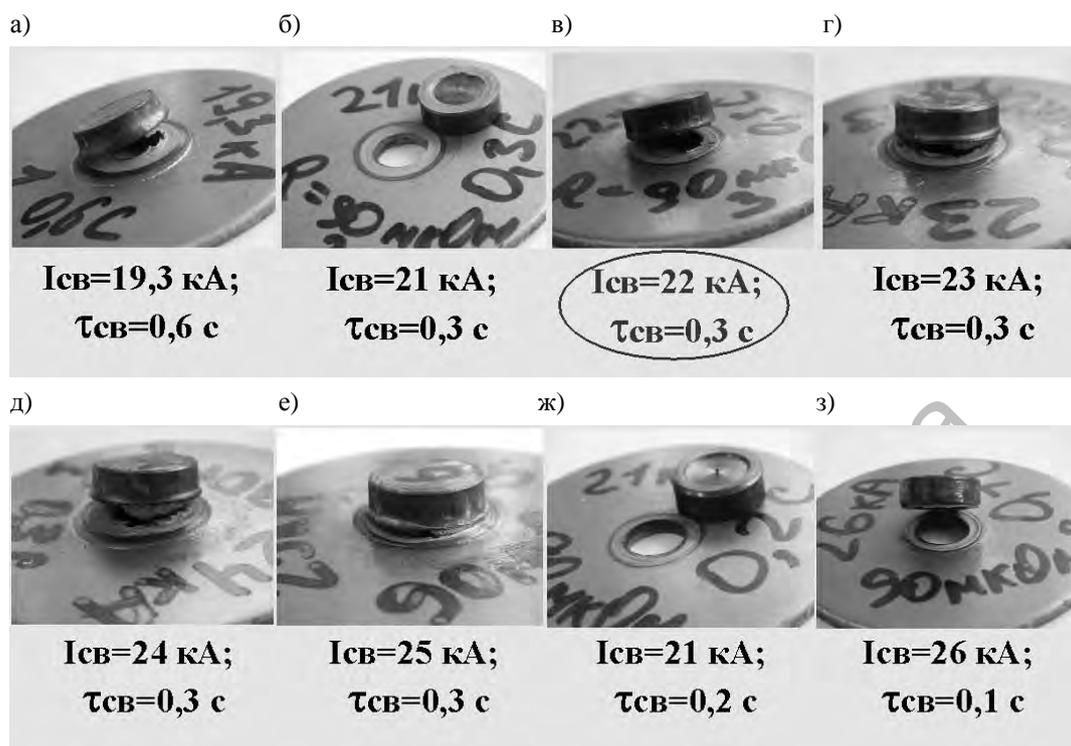


Рис. 6. Оптимизация жесткости базового режима сварки кронштейна (варьировали соотношение «ток $I_{св}$ – длительность протекания тока $\tau_{св}$ »)



Рис. 7. Оптимизация усилия сжатия электродов базового режима сварки кронштейна

Табл. 1. Скорректированный базовый режим сварки кронштейна

$I_{св}$, кА	$\tau_{св}$, с	$Q_{эз}$, Дж	$F_{св}$, кН	$\tau_{сж}$, с	$\tau_{ков}$, с	d_H , мм	d_{BH} , мм	h_p , мм
22	0,3	12300	5,5	0,8	0,6	16	11,6	1,1

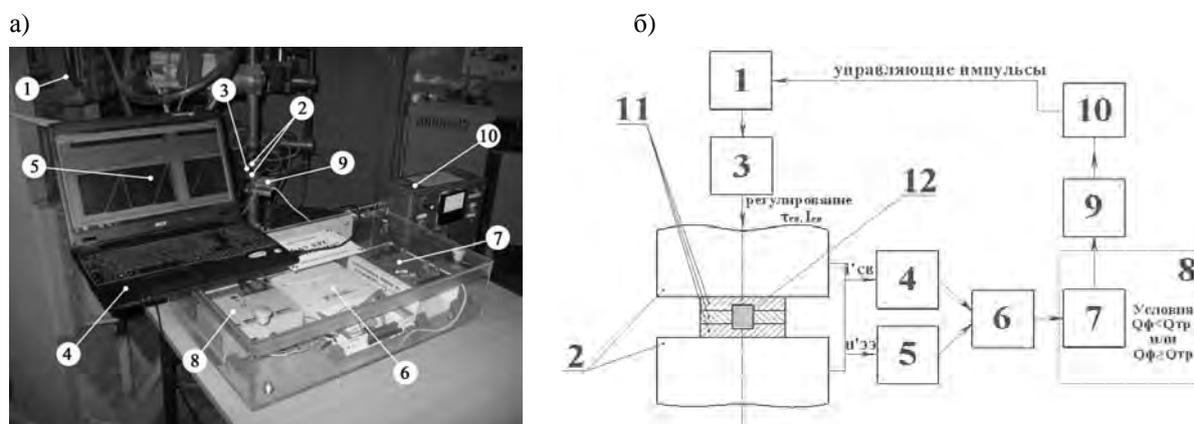


Рис. 8. Экспериментальная установка (а) и структурная схема системы автоматического управления процессом КРС (б)

На рис. 8, а: 1 – контактная машина МТ-3201; 2 – электроды под рельефную сварку; 3 – свариваемые детали; 4 – ЭВМ; 5 – интерфейс среды LVW; 6 – устройство сбора данных; 7 – устройство согласования; 8 – источник питания датчика тока; 9 – датчик тока ДТПХ-32000; 10 – пояс Роговского для тарировки датчика тока.

На рис. 8, б: 1 – регулятор; 2 – электроды; 3 – контактор; 4 – датчик тока; 5 – датчик напряжения; 6 – устройство сбора данных; 7 – ЭВМ; 8 – среда LABVIEW; 9 – устройство согласования; 10 – кабель управления; 11 – свариваемые детали; 12 – литая зона.

Данная установка позволяет задавать многоступенчатый импульс сварочного тока и дозированно вводить в межэлектродную зону электрическую энергию путем ее отдельного задания на каждой из ступеней импульса тока. Таким образом, имеется возможность существенного уменьшения суммарной электрической энергии, вводимой в межэлектродную зону, относительно расчетного значения (по уравнению теплового

баланса) с соответствующим уменьшением электроэнергии, потребляемой контактной машиной из сети в каждом цикле сварки. При этом, как было исследовано ранее, при определенных соотношениях «задаваемый ток – вводимая энергия» можно не только обеспечить прочность формируемых рельефных сварных соединений, но и добиться ее повышения [4–6].

При сварке с системой автоматического управления в межэлектродную зону вводилось 10 % энергии по сравнению с базовым режимом (1230 вместо 12300 Дж), причем в два этапа (табл. 2): сначала вводилось 5 % энергии (615 Дж) на токе подогрева, равном 50 % от базового (11 кА), затем вводилось 5 % энергии (615 Дж) на базовом токе (22 кА) (рис. 9, а). Сваривалось девять образцов. Фактическая длительность поэтапного ввода энергии составила 0,22 и 0,1 с соответственно.

Характер разрушения – вязкий вырыв, чередующийся с участками твердой фазы (рис. 9, б).

При испытании на статическое продавливание наименьшее усилие разрушения составило 19,9 кН (рис. 10).

Табл. 2. Параметры предлагаемого режима КРС кронштейна

I_{CB1} , кА	τ_{CB1} , с	Q_1 , Дж	I_{CB2} , кА	τ_{CB2} , с	Q_2 , Дж	F_{CB} , кН	$\tau_{CЖ}$, с	$\tau_{КОВ}$, с	d_H , мм	$d_{ВН}$, мм	h_P , мм
11	0,22	615	22	0,1	615	5,5	0,8	0,6	16	11,6	1,1

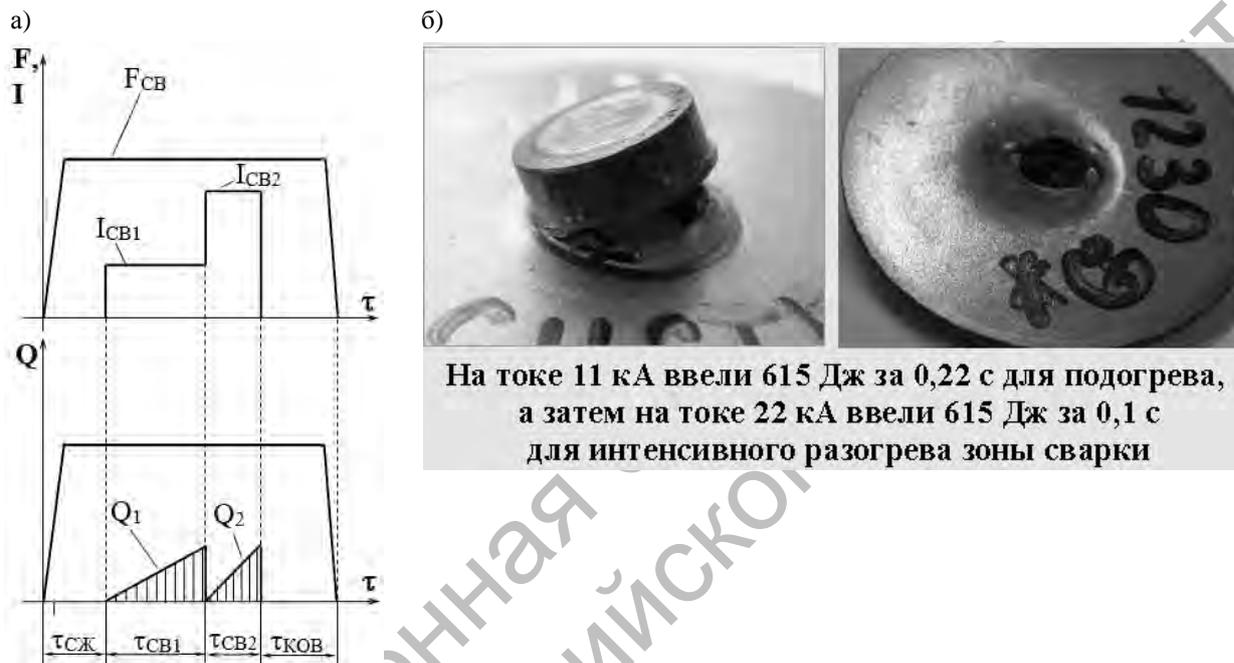


Рис. 9. Циклограмма предлагаемого способа КРС с системой автоматического управления (а) и характер разрушения одного из образцов при прочностных испытаниях (б)

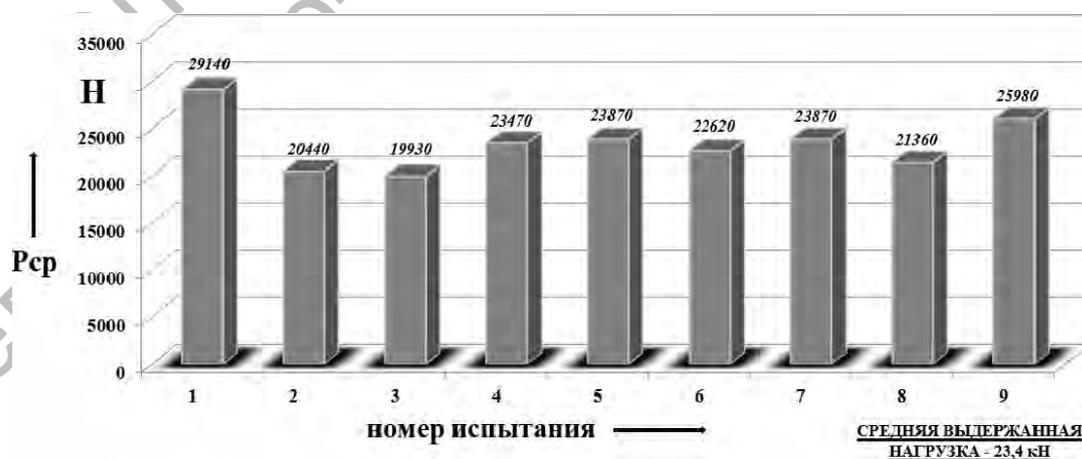


Рис. 10. Разброс прочностных показателей

Энергия, фактически вводимая в межэлектродную зону при данном режиме, составляла 1230 Дж, что в 10 раз меньше, чем при сварке при базовом режиме. При этом происходит соответствующая экономия электроэнергии, потребляемой сварочной контактной машиной в каждом цикле сварки.

Указанный режим сварки обеспечивает достаточную точность сварного соединения (конечная величина зазора между шляпкой болта и пластиной – 0,2...0,3 мм, деформирование и утонение шляпки болта при сварке – не более 0,3 мм), а также его высокую прочность при испытании на статическое продавливание – не менее 20 кН.

Затем уравнение теплового баланса пересчитали, исходя из размеров стандартного болта М10 × 24 (с учетом длины болта), а также конструкции специального электрода, необходимого для позиционирования деталей узла (рис. 11).

Расчетная величина электрической энергии, необходимой для ввода в меж-

электродную зону, составила 18435 Дж. Требуемый сварочный ток – 18,5 кА.

Так как при пересчете требуемый сварочный ток уменьшился лишь на 0,8 кА по сравнению с базовым режимом (см. рис. 4, а), то первоначально рассчитанный ток 19,3 кА изменять не потребовалось (небольшое завышение тока компенсируется теплоотводом в стержень болта). Соответственно, базовый режим сварки кронштейна, представленный в табл. 1, коррекции не подлежит.

Далее на токарно-фрезерном станке на нижней части шляпки болта изготавливался кольцевой рельеф в соответствии с размерами, представленными в табл. 2.

Затем из меди М1 по схеме на рис. 11 был изготовлен специальный электрод с фторопластовой вставкой под болт (рис. 12, а). На рис. 12, б...г показана последовательность укладки деталей кронштейна на спецэлектрод перед сваркой.

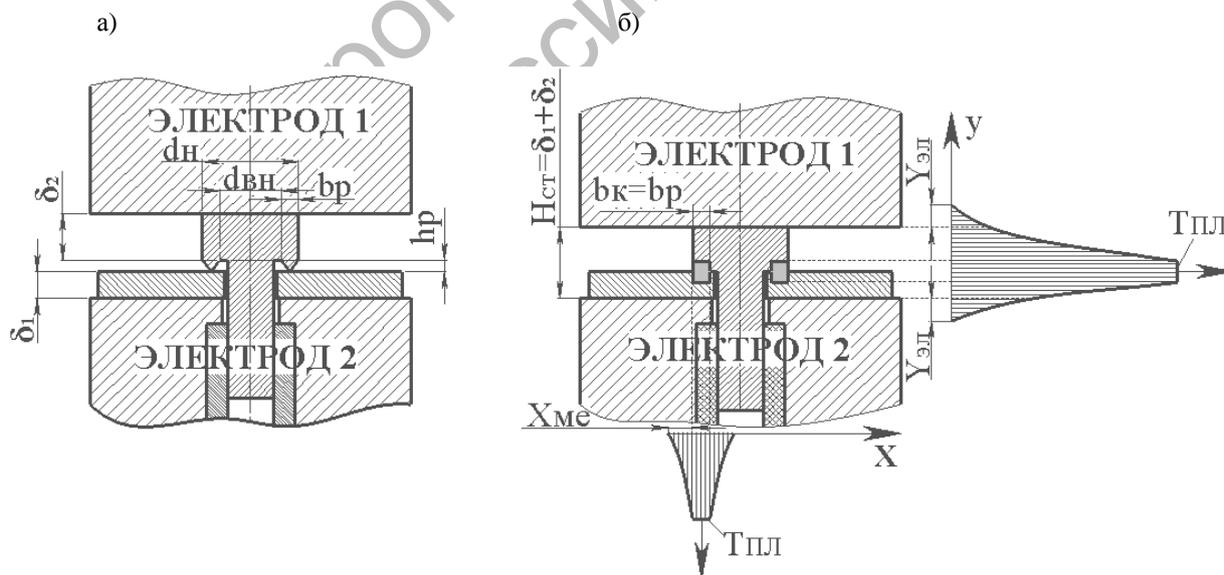


Рис. 11. Геометрия стандартного болта М10 × 24 и пластины кронштейна перед сваркой (а) и схема расчета уравнения теплового баланса соединения (б)

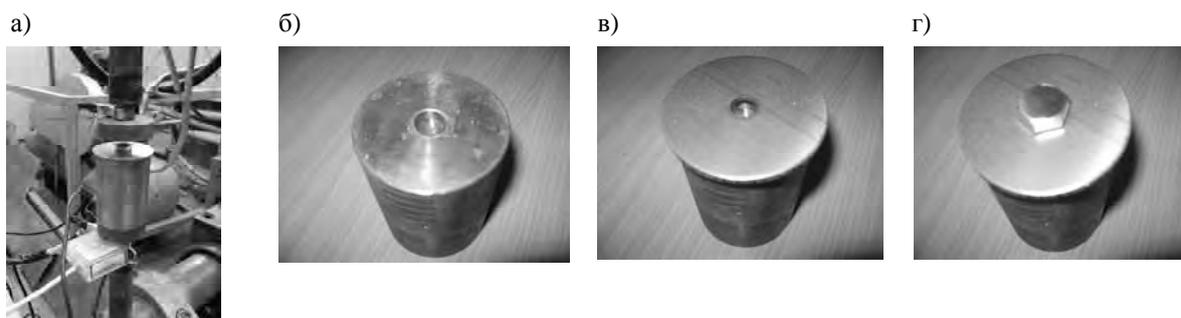


Рис. 12. Позиционирование спецэлектрода на плоском электроде сварочной машины (а) и последовательность укладки деталей кронштейна на специальный электрод перед сваркой (б...г)

При эксперименте необходимо было посредством предложенного электрода со вставкой сварить три кронштейна (стандартный болт М10 × 24 + пластина с отверстием) с последующей визуальной оценкой точности и испытанием сварных соединений на статическое продавливание. Режимы сварки соответствовали табл. 2 с дополнением размеров контактной поверхности специального электрода: наружный диаметр электрода – 57 мм, внутренний диаметр – 11 мм, диаметр фторопластовой вставки под центрирование болта – 10 мм.

При сварке трех кронштейнов с использованием режима, представленного в табл. 1, фактическая длительность протекания сварочного тока на каждой из ступеней импульса составила $t_{св1} = 0,42$ с и $t_{св2} = 0,1$ с соответственно (см. рис. 9, а).

Длительность ввода первой части энергии (5 % – 615 Дж) на подогревочном токе увеличилась примерно в 2 раза по сравнению с режимом сварки, результаты которого представлены на рис. 9, б. Болт при сварке значительно разогрелся, что объясняется повышенной теплопроводностью стали 35, из которой изготовлен стандартный болт, по сравнению с теплопроводностью стали 20, из которой первоначально изготавливались шляпки под сварку, имитирующие болт. Также немаловажным явилось наличие цинкового покрытия

на поверхности болта, что в 2 раза замедлило скорость ввода энергии в межэлектродную зону на подогревочном токе.

Точность сварных соединений аналогична точности соединений, сваренных при базовом режиме (см. рис. 9 и 10). Визуально шляпка болта не деформировалась, зазор между шляпкой болта и пластиной составил не более 0,2...0,3 мм по всему периметру контакта. Попадание цинка в контакты при сварке привело к появлению белых пятен на соединении. Дополнительно было проведено прочностное испытание на статическое продавливание болтов (рис. 13).

Разрушение всех трех образцов произошло по кольцевому рельефу по чередующимся участкам взаимного расплавления и твердой фазы (площадь зон взаимного расплавления металла преобладает). Нагрузка, выдержанная сварными соединениями при испытании, составила 23,7; 27,7 и 25,67 кН соответственно.

Таким образом, параметры энергосберегающего режима КРС кронштейнов с использованием системы автоматического управления процессом, приведенные в табл. 2, коррекции не требуют. При испытании на статическое продавливание усилие разрушения образцов, сваренных при указанном режиме, составляет не менее 23 кН.

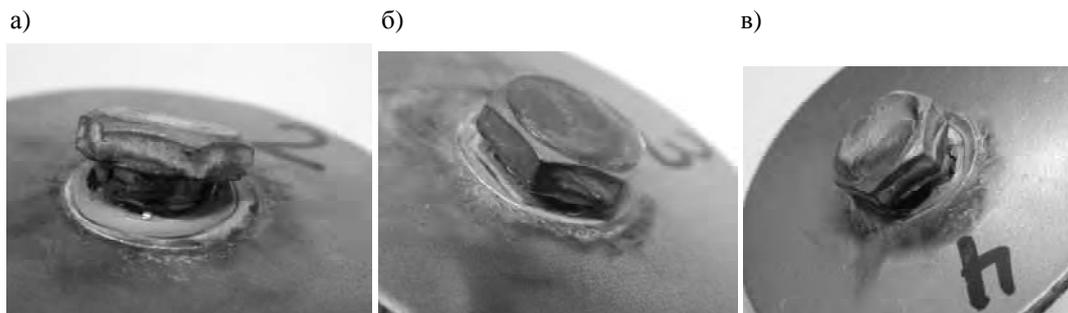


Рис. 13. Разрушенные образцы 1 (а), 2 (б) и 3 (в)

Таким образом, наличие цинкового покрытия на поверхности болтов перед сваркой нежелательно, т. к. увеличивается начальное сопротивление контакта электрод – деталь и ухудшается стабилизация контактных сопротивлений, что увеличивает интервал введения дозированной энергии в межэлектродную зону на начальном этапе процесса и вызывает выплески расплавленного металла из зоны контактов.

Для подтверждения адекватности вывода о влиянии цинкового покрытия болта на процесс КРС кронштейна из стали 20, которую применяли в первоначальных экспериментах, изготовили болт (без покрытия). Затем осуществили сварку кронштейна с помощью спец-электрода (см. рис. 12) в соответствии с

режимом, указанным в табл. 2.

Точность соединения высокая (рис. 14, а). Визуально шляпка болта не деформировалась, зазор между шляпкой болта и пластиной составил не более 0,05...0,1 мм по всему периметру контакта. При сварке произошло небольшое шунтирование тока через стержень болта. Утонения шляпки болта не произошло. Фактическая длительность первого и второго импульсов тока составила 0,2 и 0,09 с соответственно, что подтверждает выводы о негативном влиянии цинкового покрытия болта на процесс ввода энергии в межэлектродную зону на начальном этапе процесса.

При испытании на статическое продавливание усилие разрушения образца составило 23,1 кН (рис. 14, б).



Рис. 14. Сварка пластины (сталь 08кп) с болтом без цинкового покрытия и резьбы (сталь 20)

Затем гальваническим способом с поверхности двух отфрезерованных стандартных болтов М10 × 24 было сня-

то цинковое покрытие, после чего при режиме в соответствии с табл. 2 осуществили КРС кронштейнов (рис. 15, а).

При прочностных испытаниях усилие разрушения образцов составило 23,1 и 27 кН, соответственно. Характер разрушения – по кольцевому рельефу по чередующимся участкам взаимного расплавления и твердой фазы (площадь зон

взаимного расплавления металла преобладает) (рис. 15, б, в).

Точность соединений соответствует базовому режиму (см. рис. 9, б и табл. 2).



Рис. 15. Сварка стандартного болта M10 × 24 без цинкового покрытия (сталь 35) с пластиной (сталь 08кп) (а) и разрушенные образцы (б, в)

Выводы

1. Установлено, что параметры режимов контактной рельефной сварки, рекомендуемые в источниках технической литературы, требуют существенной корректировки с точки зрения энергоэффективности процесса.

2. Разработан высокоэффективный энергосберегающий технологический процесс контактной рельефной сварки кронштейнов лифтов по кольцевым рельефам, позволяющий за счет системы автоматического управления уменьшить в 10 раз количество вводимой электрической энергии в межэлектродную зону по сравнению с режимами, описанными в технической литературе, при соответ-

ствующем снижении энергопотребления контактной машины и сохранении 85...95-процентного уровня прочности соединений.

3. Наличие цинкового покрытия на поверхности стандартного болта, привариваемого к пластине, перед сваркой нежелательно, т. к. из-за этого увеличивается начальное сопротивление контакта электрод – деталь и ухудшается стабилизация контактных сопротивлений, что увеличивает интервал введения дозированной энергии в межэлектродную зону на начальном этапе процесса и вызывает выплески расплавленного металла из зоны контактов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гилевич, В. А. Технология и оборудование рельефной сварки / В. А. Гилевич. – Л. : Машиностроение, 1976. – 151 с.
2. Березиенко, В. П. Технология сварки давлением / В. П. Березиенко, С. Ф. Мельников, С. М. Фурманов. – Могилев : Белорус.-Рос. ун-т, 2009. – 256 с.
3. Об обеспечении прочности соединений, получаемых способом контактной рельефной сварки, без образования литого ядра / А. Ю. Поляков, С. М. Фурманов, Т. И. Бендик, А. А. Степанов, М. С. Колубова // Вестн. Полоц. гос. ун-та. – 2016. – № 3. – С. 75–81.
4. Способ контактной точечной и/или рельефной сварки : уведомление о регистрации изобретения под № 19977 от 07.12.2015 г. по заявке № а 20131384 в государственном реестре изобретений (авторы А. Ю. Поляков, С. М. Фурманов, Т. И. Бендик, С. С. Короткевич, А. О. Булышко).

5. Система автоматического управления процессом рельефной сварки : пат. Респ. Беларусь, МПК В 23 К 11/10 / А. Ю. Поляков, С. М. Фурманов, Т. И. Бендик, С. С. Короткевич, А. О. Булышко ; заявл. 18.11.13 ; опубл. 30.12.14. – 2014, № 10481 (U). – 5 с.

6. **Поляков, А. Ю.** Система автоматического управления процессом контактной рельефной сварки / А. Ю. Поляков, С. М. Фурманов, Т. И. Бендик // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2013. – № 4. – С. 75–84 .

Статья сдана в редакцию 25 мая 2016 года

Андрей Юрьевич Поляков, канд. техн. наук, ст. преподаватель, Белорусско-Российский университет. E-mail: mortis2008@mail.ru.

Сергей Михайлович Фурманов, канд. техн. наук, доц., Белорусско-Российский университет. E-mail: furm@mail.ru.

Алексей Андреевич Степанов, студент, Белорусско-Российский университет. E-mail: ganstapugin@gmail.com.

Мария Сергеевна Колобова, студент, Белорусско-Российский университет. Тел.: +375-333-75-39-66.

Дмитрий Андреевич Денисов, студент, Белорусско-Российский университет. E-mail: fringe.election@gmail.com.

Andrey Yuryevich Polyakov, PhD (Engineering), senior lecturer, Belarusian-Russian University. E-mail: mortis2008@mail.ru.

Sergey Mikhailovich Furmanov, PhD (Engineering), Associate Prof., Belarusian-Russian University. E-mail: furm@mail.ru

Aleksei Andreyevich Stepanov, student, Belarusian-Russian University. E-mail: ganstapugin@gmail.com

Mariya Sergeevna Kolobova, student, Belarusian-Russian University. Phone: +375-333-75-39-66.

Dmitry Andreyevich Denisov, student, Belarusian-Russian University. E-mail: fringe.election@gmail.com.