

УДК 621.791.763.2

Д. Н. Юманов, С. М. Фурманов, И. Н. Смоляр, И. Д. Камчицкая, А. О. Коротеев

О ВЛИЯНИИ ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМА КОНТАКТНОЙ РЕЛЬЕФНОЙ СВАРКИ С ПРОГРАММНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ МОЩНОСТЬЮ ТЕПЛОВЛОЖЕНИЯ НА СТАБИЛЬНОСТЬ ПРОЧНОСТНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СОЕДИНЕНИЙ

UDC 621.791.763.2

D. N. Yumanov, S. M. Furmanov, I. N. Smolar, I. D. Kamchitskaya, A. O. Koroteyev

ON THE EFFECT OF PARAMETERS OF RESISTANCE PROJECTION WELDING MODE WITH PROGRAMMED CONTROL OF HEAT INPUT POWER ON THE STABILITY OF STRENGTH INDICATORS OF JOINTS

Аннотация

Разработана экспериментальная установка для контактной рельефной сварки с программным управлением мощностью тепловложения на базе машины контактной точечной сварки «Оливер» серии МТ-40, блока управления тиристорами БУСТ2 и платы сбора данных National Instruments. Разработан виртуальный регулятор цикла рельефной сварки в программной среде LabVIEW, осуществляющий задание временных интервалов циклограммы рельефной сварки, а также включение сварочного тока. Управление включением катушки электропневмоклапана сжатия электродов осуществлялось с помощью контроллера WELCOM II машины МТ-40. В результате исследований определены режимы сварки, обеспечивающие повышение стабильности прочностных характеристик соединений по сравнению с получаемыми сваркой на серийных машинах.

Ключевые слова:

контактная рельефная сварка, программное управление мощностью тепловложения, виртуальный регулятор цикла сварки, стабильности прочностных характеристик соединений, блок управления тиристорами.

Abstract

An experimental installation has been developed to perform resistance projection welding with programmed control of heat input power on the basis of the Oliver resistance spot welding machine of MT-40 series, BUST2 thyristor control unit and National Instruments Data Acquisition board. A virtual controller of the projection welding cycle has been developed in the LabVIEW programming environment, which sets time intervals for a projection welding cyclogram, as well as turns on welding current. The activation of the coil of an electro-pneumatic valve of electrode compression is controlled with the WELCOM II controller of the MT-40 machine. As a result of the studies, welding modes have been determined that provide increased stability of strength characteristics of joints compared to those obtained when welding with standard machines.

Keywords:

resistance projection welding, software control of heat input power, virtual regulator of the welding cycle, stability of strength characteristics of joints, thyristor control unit.

Совершенствование термомодеформационного цикла рельефной сварки Т-образных сварных соединений является перспективным направлением развития современного машиностроения. Т-образная рельефная сварка – ресурсо-

сберегающий технологический процесс, повышающий производительность труда и качество продукции. Для оптимизации процесса рельефной сварки с целью обеспечения стабильного высокого качества сварных соединений требуется



расширение функциональных возможностей сварочных машин с использованием систем автоматического программного управления [1, 2].

Объектом исследований являются сварные соединения пластины из горячекатаной стали Ст3пс толщиной 4 мм и винта М8 с потайной головкой. На производстве такие соединения часто изготавливают механизированной дуговой сваркой (рис. 1, а). Замена дуговой сварки на Т-образную рельефную «острой гранью» (рис. 1, б) может дать значительное увеличение производительности и экономию сварочных материалов.

Основной проблемой, возникаю-

щей при рельефной сварке горячекатаных сталей, является наличие на поверхности неудаленной окалины, что повышает диапазон изменения сопротивлений контактов электрод–деталь и деталь–деталь до 60...1000 мкОм в зависимости от способа очистки поверхности. Окалина в процессе нагрева может не полностью вытесняться из зоны контактов и препятствует образованию соединения. Повышенное сопротивление контактов при увеличении сварочного тока ведет к их перегреву и увеличению вероятности появления выплесков расплавленного металла, существенно снижающих прочность соединений [3].

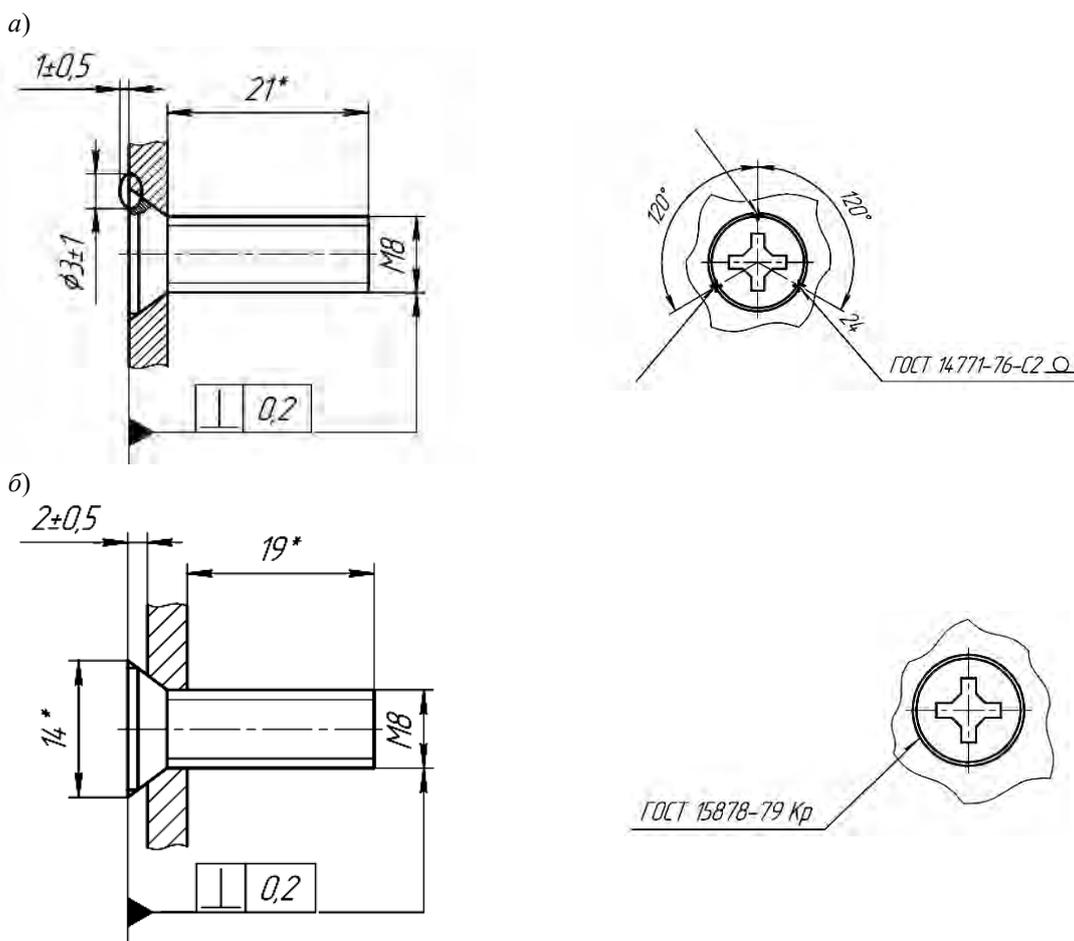


Рис. 1. Соединение винта с пластиной из горячекатаной стали механизированной дуговой сваркой (а) и рельефной сваркой «острой гранью» (б)

При Т-образной рельефной сварке «острой гранью» винтов с потайной головкой с пластиной из горячекатаной стали создаются благоприятные условия для расплавления и полного вытеснения окалины из зоны контакта деталь–деталь. При механической обработке (сверление отверстий в пластине) в результате разрушения окалины появляется возможность сварки без зачистки поверхности горячекатаной стали. Применение винтов с потайной головкой, скошенной под углом 45° , исключает дополнительные расходы, связанные с изготовлением рельефа.

При сборке винта с пластиной и приложении предварительного усилия сжатия электродов между деталями по кромке отверстия образуется начальный кольцевой контакт с высоким сопротивлением. В начале протекания импульса сварочного тока из-за большой плотности тока в этой зоне появляются начальные выплески расплавленного металла. Прочность сварных соедине-

ний при колебаниях параметров режима нестабильная и значительно уменьшается при возникновении выплесков вплоть до ее полной потери.

Для исследования прочности соединений винтов с пластиной из горячекатаной стали при рельефной сварке в условиях производства на серийно выпускаемых машинах типа МТ-3201 использовали две циклограммы сварки с импульсом тока подогрева $I_{\text{ПОД}}$ в течение времени $\tau_{\text{ПОД}}$: циклограмму № 1 с постоянным усилием сжатия электродов при подогреве, сварке и проковке $F_{\text{ПОД}} = F_{\text{СВ}} = F_{\text{КОВ}}$ (рис. 2) и циклограмму № 2 с пониженным усилием сжатия при подогреве $F_{\text{ПОД}}$ и повышенным усилием сжатия при сварке и проковке $F_{\text{СВ}} = F_{\text{КОВ}}$ (рис. 3). После сварки по данным циклограммам образцы испытывались на отрыв статическим продавливанием на разрывной машине РГМ-1000 по следующей схеме нагружения (рис. 4) [1].

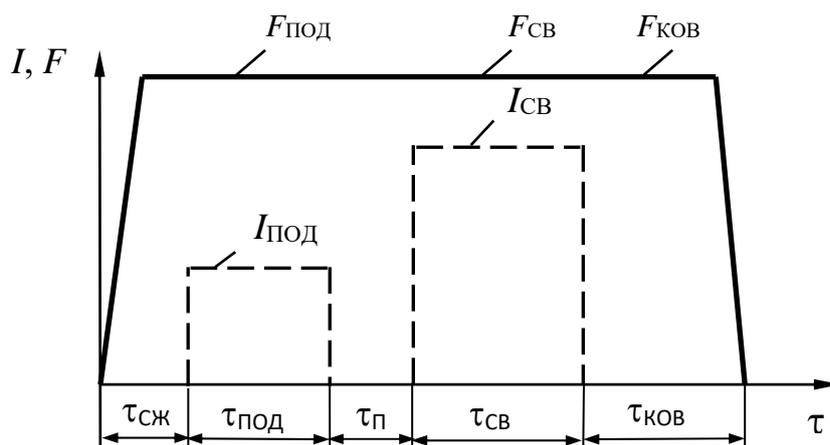


Рис. 2. Циклограмма № 1 рельефной сварки с импульсом подогрева и постоянным усилием сжатия электродов при подогреве, сварке и проковке $F_{\text{ПОД}} = F_{\text{СВ}} = F_{\text{КОВ}}$



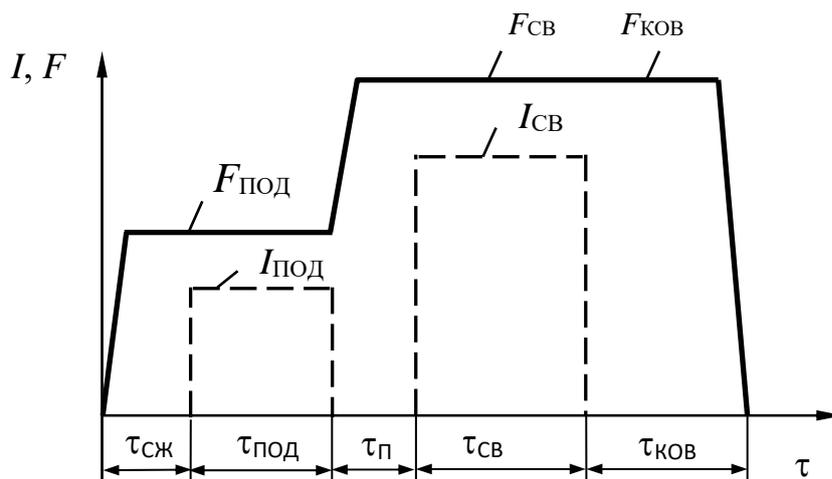


Рис. 3. Циклограмма № 2 рельефной сварки с импульсом подогрева и повышенным усилием сжатия при сварке и проковке $F_{св} = F_{ков}$

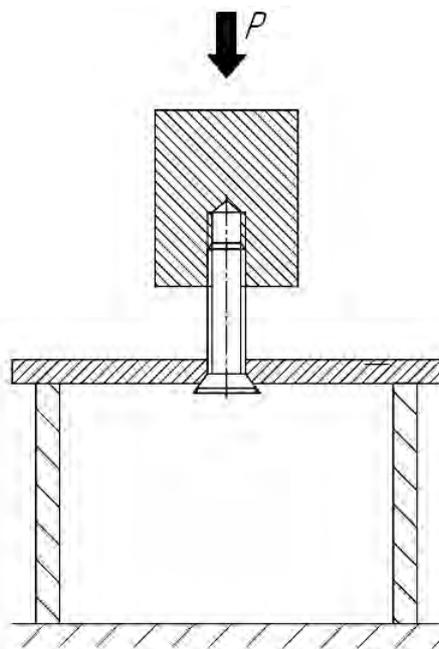


Рис. 4. Схема испытания на отрыв статическим продавливанием

В результате экспериментов подтверждено, что при рельефной сварке «острой гранью» горячекатаной стали с винтами отклонения параметров режима оказывают существенное влияние на прочность сварных соединений. Результаты испытаний на прочность образцов, сваренных по циклограмме № 1 (см. рис. 2), представлены на рис. 5.

При оптимальном соотношении

параметров режима ($I_{под} = 9,6$ кА; $I_{св} = 16,8$ кА; $F_{св} = F_{ков} = 6,3$ кН) среднее значение усилия на отрыв соединений $F_{отр}$ составило 18,25 кН при диапазоне его изменения от 11,56 до 25,59 кН (см. рис. 5, режим 1). Причем резкое снижение прочности наблюдалось на образцах, при сварке которых происходили сильные выплески расплавленного металла ($F_{отр} = 14,34; 11,56; 12,01$ кН).



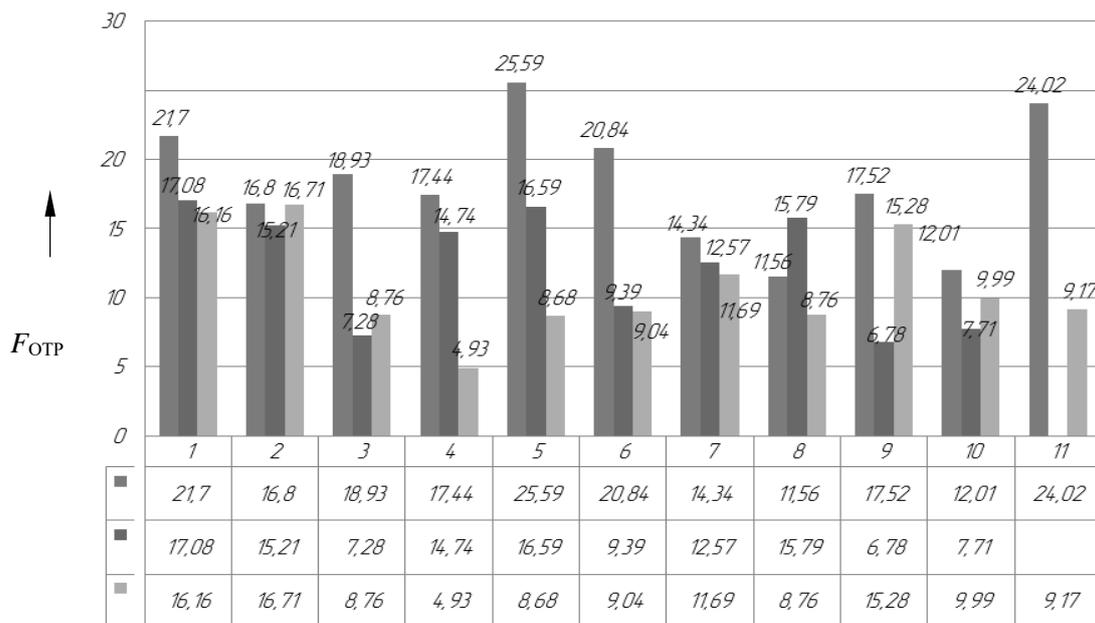


Рис. 5. Результаты испытаний на прочность образцов, сваренных по циклограмме № 1 с постоянным усилием сжатия при $\tau_{\text{ПОД}} = \tau_{\text{СВ}} = 0,3$ с: 1 – $I_{\text{ПОД}} = 9,6$ кА; $I_{\text{СВ}} = 16,8$ кА; $F_{\text{СВ}} = F_{\text{КОВ}} = 6,3$ кН; 2 – $I_{\text{ПОД}} = 7,7$ кА; $I_{\text{СВ}} = 14,8$ кА; $F_{\text{СВ}} = F_{\text{КОВ}} = 5,4$ кН; 3 – $I_{\text{ПОД}} = 7,7$ кА; $I_{\text{СВ}} = 16,1$ кА; $F_{\text{СВ}} = F_{\text{КОВ}} = 6,4$ кН

При снижении параметров режима сварки до величин $I_{\text{ПОД}} = 7,7$ кА; $I_{\text{СВ}} = 14,8$ кА; $F_{\text{СВ}} = F_{\text{КОВ}} = 5,4$ кН значительно уменьшается среднее значение усилия на отрыв $F_{\text{ОТР}}$ до 12,3 кН при диапазоне его изменения от 6,78 до 17,08 кН (см. рис. 5, режим 2). Причем на образцах, при сварке которых наблюдались сильные выплески, происходит еще более резкое снижение прочности ($F_{\text{ОТР}} = 9,39; 6,78; 7,71$ кН).

Повышение сварочного тока и усилия сжатия при токе подогрева $I_{\text{ПОД}} = 7,7$ кА до величин $I_{\text{СВ}} = 16,1$ кА; $F_{\text{СВ}} = F_{\text{КОВ}} = 6,4$ кН не дает никакого повышения прочности. Среднее значение усилия на отрыв соединений $F_{\text{ОТР}}$ составило 10,8 кН при диапазоне его изменения от 4,93 до 16,71 кН (см. рис. 5, режим 3). Причем количество образцов, при сварке которых наблюдались сильные выплески, увеличилось ($F_{\text{ОТР}} = 8,76; 4,93; 9,04; 11,69; 9,99$ кН).

Таким образом, снижение тока подогрева отрицательно сказывается на прочности соединений, уменьшает тем-

пературу нагрева окалины и затрудняет ее вытеснение из зоны контактов, увеличение же сварочного тока при этом ведет лишь к росту вероятности выплесков, несмотря на увеличение усилия сжатия электродов.

С целью повышения прочности соединений при рельефной сварке «острой гранью» были сварены образцы по циклограмме № 2 с малым усилием сжатия электродов при подогреве $F_{\text{ПОД}}$ и повышенным усилием сжатия при сварке и проковке $F_{\text{СВ}} = F_{\text{КОВ}}$ (см. рис. 3). Результаты испытаний на прочность образцов представлены на рис. 6.

Сварка с параметрами режима $I_{\text{ПОД}} = 7,7$ кА; $I_{\text{СВ}} = 16,5$ кА; $F_{\text{ПОД}} = 2$ кН; $F_{\text{СВ}} = F_{\text{КОВ}} = 5$ кН; $\tau_{\text{ПОД}} = \tau_{\text{СВ}} = 0,3$ с ведет к значительному увеличению степени разогрева соединения и нестабильности процесса сварки. Даже при уменьшении токов до величин $I_{\text{ПОД}} = 7,7$ кА; $I_{\text{СВ}} = 16,5$ кА наблюдались очень сильные выплески, однако при этом среднее значение усилия на отрыв $F_{\text{ОТР}}$ составило 26,3 кН при раз-

бросе от 13,96 до 37,52 кН (см. рис. 6, режим 1). Высокая прочность отдельных образцов (35...37 кН) свидетельствует об образовании между деталями

общей расплавленной зоны, однако из-за сильных выплесков эта зона является нестабильной.

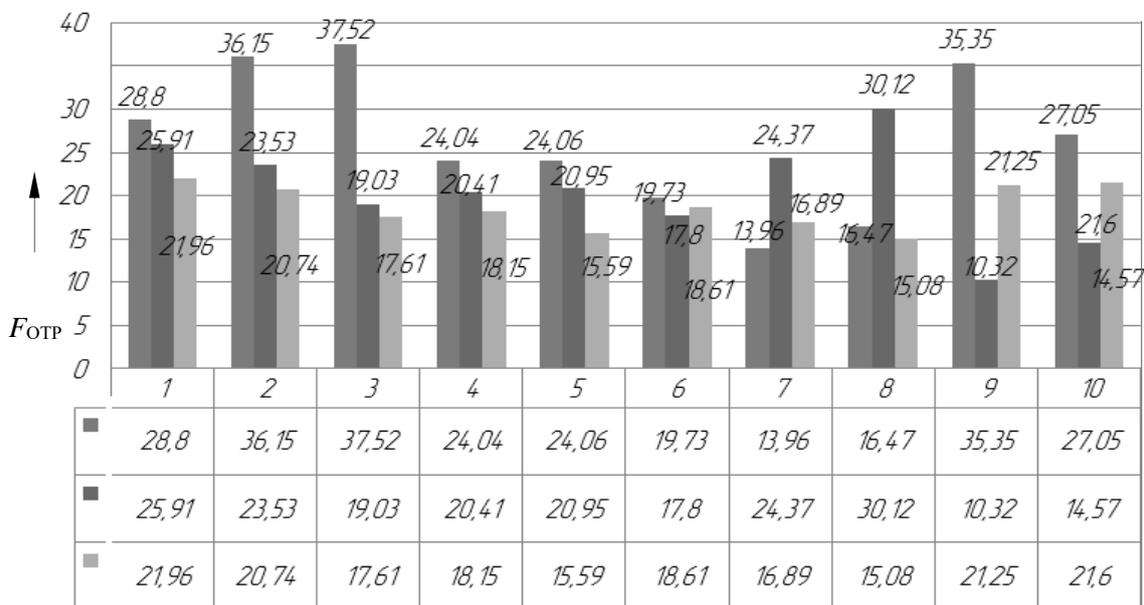


Рис. 6. Результаты испытаний на прочность образцов, сваренных по циклограмме № 2 с повышенным усилием сжатия: 1 – $I_{\text{Под}} = 7,7$ кА; $I_{\text{СВ}} = 16,5$ кА; $F_{\text{Под}} = 2$ кН; $F_{\text{СВ}} = F_{\text{КОВ}} = 5$ кН; $\tau_{\text{Под}} = \tau_{\text{СВ}} = 0,3$ с; 2 – $I_{\text{Под}} = 9,6$ кА; $I_{\text{СВ}} = 18,9$ кА; $F_{\text{Под}} = 3$ кН; $F_{\text{СВ}} = F_{\text{КОВ}} = 10$ кН; $\tau_{\text{Под}} = \tau_{\text{СВ}} = 0,3$ с; 3 – $I_{\text{Под}} = 9,6$ кА; $I_{\text{СВ}} = 18,9$ кА; $F_{\text{Под}} = 3$ кН; $F_{\text{СВ}} = F_{\text{КОВ}} = 10$ кН; $\tau_{\text{Под}} = 0,3$ с; $\tau_{\text{СВ}} = 0,2$ с

Дальнейшие эксперименты показали, что значительного снижения вероятности появления выплесков можно достичь при следующих параметрах режима: $I_{\text{Под}} = 9,6$ кА; $I_{\text{СВ}} = 18,9$ кА; $F_{\text{Под}} = 3$ кН; $F_{\text{СВ}} = F_{\text{КОВ}} = 10$ кН; $\tau_{\text{Под}} = \tau_{\text{СВ}} = 0,3$ с (см. рис. 6, режим 2), при этом среднее значение усилия на отрыв $F_{\text{Отр}}$ составило 20,7 кН при разбросе от 10,32 до 30,12 кН, на образцах с сильными выплесками $F_{\text{Отр}} = 10,32$ и 14,57 кН.

При снижении времени протекания тока до $\tau_{\text{СВ}} = 0,2$ с среднее значение усилия на отрыв $F_{\text{Отр}}$ составило 18,7 кН при разбросе от 15,08 до 21,96 кН (см. рис. 6, режим 3).

Исходя из анализа экспериментальных данных можно сделать вывод о том, что величина тока $I_{\text{Под}}$ и усилия $F_{\text{Под}}$ на этапе подогрева оказывают

решающее влияние на степень разогрева окалины и ее вытеснение из зоны контакта свариваемых деталей.

Таким образом, при рельефной сварке горячекатаной стали с винтами из-за значительного влияния отклонений параметров режима на прочность сварных соединений требуется стабилизация мощности тепловложения в межэлектродную зону. Поэтому разработка системы автоматического программного управления мощностью тепловложения при рельефной сварке является актуальной задачей и требует проведения соответствующих экспериментальных исследований.

Контактная рельефная сварка Т-образных соединений «острой гранью» с программным управлением мощностью тепловложения в межэлектродную зону осуществлялась с помощью экспе-



риментальной установки на базе машины контактной точечной сварки «Оливер» серии МТ-40 с контроллером фирмы «Chowel» WELCOM II (СТV2-215) (рис. 7). Модернизация контактной сварочной машины Oliver МТ-40 осуществлялась путем интеграции блока управления тиристорами и симисторами ОВЕН БУСТ2 в узлы управления сварочной машиной. Функцию включения электропневмоклапанов сжатия электро-

дов выполняет блок WELCOM II, а функцию включения сварочного тока – блок БУСТ2, который предназначен для управления тиристорами в составе регуляторов переменного напряжения методом фазового регулирования [4]. Основная функция, выполняемая блоком, – преобразование входного управляющего сигнала в длительность открытого состояния тиристора и автоматическое регулирование мощности.

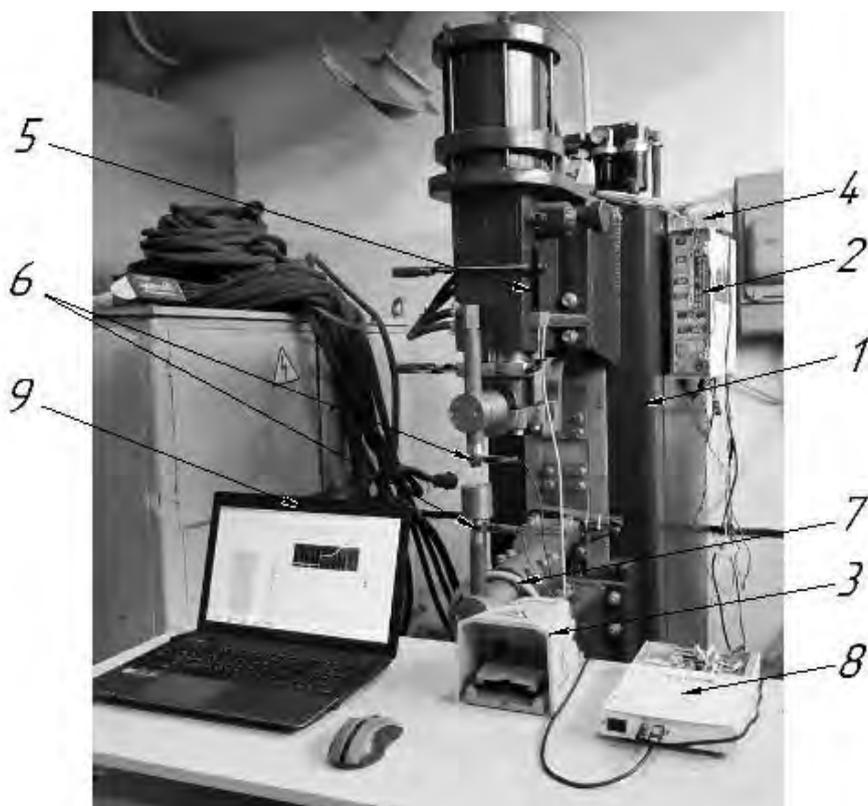


Рис. 7. Экспериментальная установка для реализации системы программного управления мощностью тепловложения при контактной рельефной сварке

Экспериментальная установка состоит из следующих компонентов: 1 – машина контактной точечной сварки «Оливер» серии МТ-40; 2 – многофункциональный программируемый сварочный контроллер WELCOM II; 3 – педаль запуска машины; 4 – блок управления тиристорами и симисторами ОВЕН БУСТ2; 5 – оптоэлектронный преобразователь линейных перемещений ЛИР-17; 6 – датчик напряжения;

7 – датчик тока «Пояс Роговского»; 8 – аналого-цифровой и цифроаналоговый преобразователь напряжений NI-USB 6251; 9 – ЭВМ и виртуальный регулятор цикла сварки, разработанный в программной среде LabView.

При нажатии на педаль сварочной машины происходит синхронизированный запуск контроллера WELCOM II и виртуального регулятора цикла рельефной сварки в программной сре-

де LabVIEW, которые отсчитывают одинаковый интервал времени предварительного сжатия электродов. Ожидание нажатия педали и запуск циклограммы сварки в программе осуществ-

ляется с помощью цифрового триггера PFI 0/P1.0, задание и отсчет времени предварительного сжатия электродов – с помощью таймера «Elapsed Time» (рис. 8) [1, 2, 5].

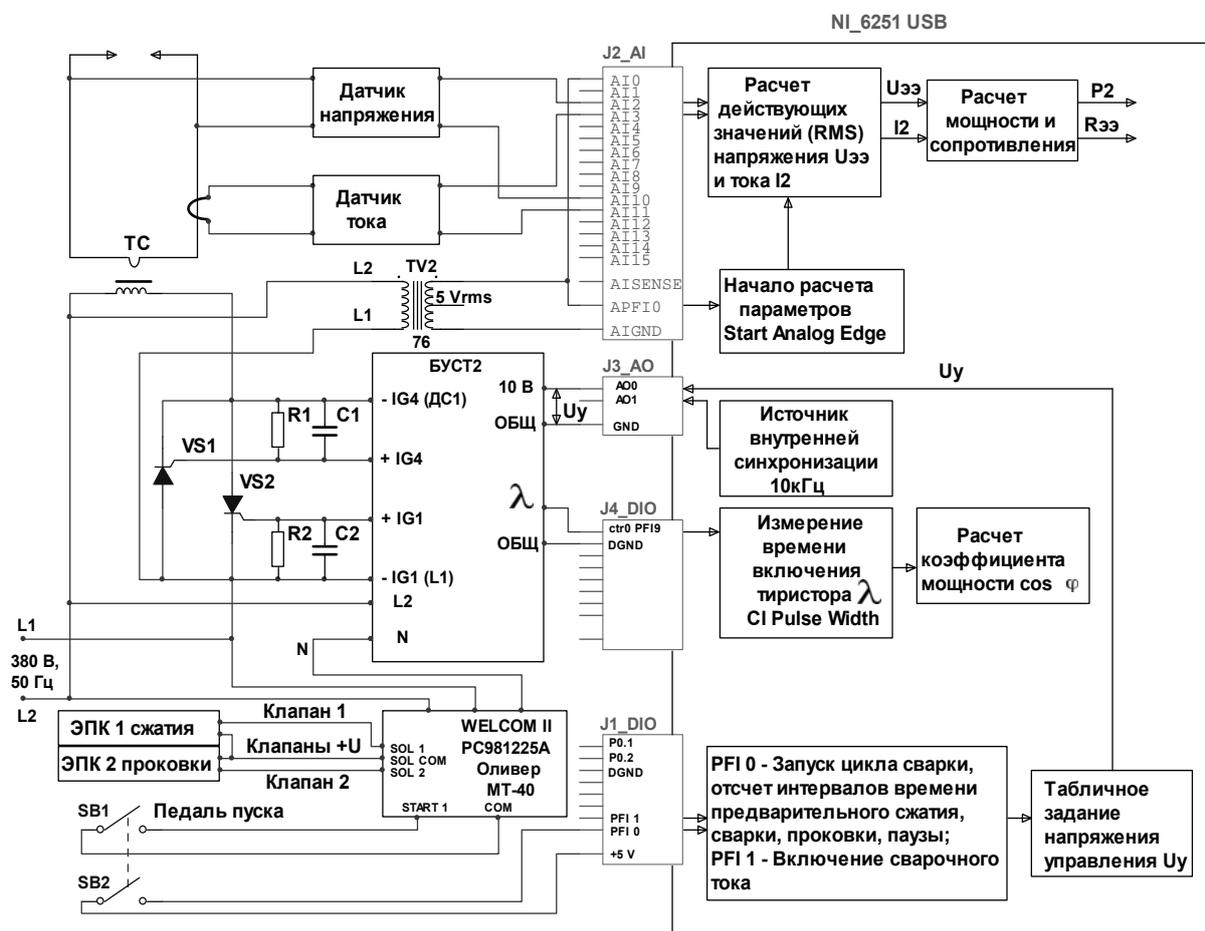


Рис. 8. Структурная схема системы программного управления мощностью тепловложения в межэлектродную зону при контактной рельефной сварке

Включение тока осуществляется при срабатывании цифрового триггера PFI 1/P1.1 в программной среде LabVIEW. Далее осуществляется табличное задание напряжения управления блоком БУСТ2 с интервалом, равным 0,01 с, т. е. по полупериодам сетевого напряжения с частотой 100 Гц. Количество полупериодов определяется временем протекания сварочного тока. В результате формируется сигнал управления U_y для блока БУСТ2 и циклограмма мощности тепловложения.

Цикл сварки завершается после отсчета времени проковки.

Разработанная экспериментальная установка с программированием мощности тепловложения позволяет генерировать новые способы контактной рельефной сварки и получать сварные соединения стабильно высокого качества за счет оптимизации ввода электрической энергии на разных стадиях процесса.

Иллюстрацией программного управления является циклограмма контактной рельефной сварки с табличным



заданием мощности тепловложения в межэлектродную зону (рис. 9). На циклограмме отображаются мощность теп-

ловложения (ток) при подогреве $P_{\text{ПОД}}$ и сварке $P_{\text{СВ}}$ и усилие сжатия $F_{\text{СВ}}$ электродов.

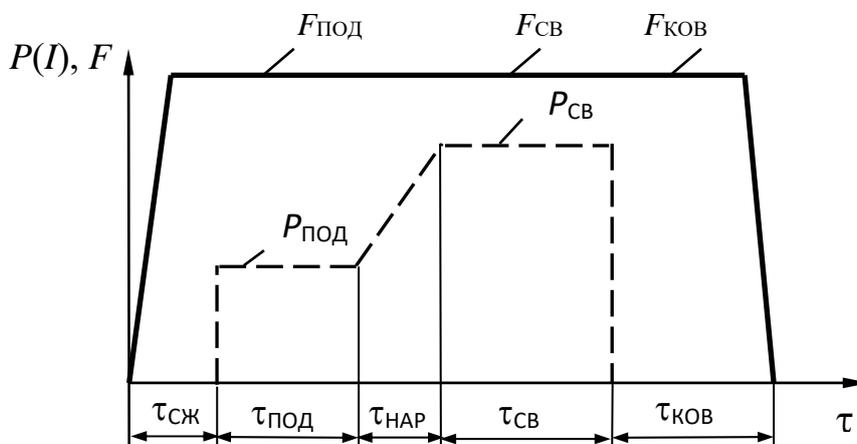


Рис. 9. Циклограмма рельефной сварки с импульсом подогрева мощностью $P_{\text{ПОД}}$, плавным нарастанием мощности сварки $P_{\text{СВ}}$ и постоянным усилием сжатия электродов $F_{\text{ПОД}} = F_{\text{СВ}} = F_{\text{КОВ}}$

Сварка всех образцов производилась по данной циклограмме на разных режимах с постоянным усилием сжатия электродов при подогреве, сварке и проковке $F_{\text{ПОД}} = F_{\text{СВ}} = F_{\text{КОВ}}$, время предварительного сжатия и проковки во всех случаях составляло $\tau_{\text{СЖ}} = \tau_{\text{КОВ}} = 0,5$ с. Мощность при подогреве $P_{\text{ПОД}}$ (ток подогрева $I_{\text{ПОД}}$) и мощность при сварке $P_{\text{СВ}}$ (сварочный ток $I_{\text{СВ}}$) задавались программным путем с отсутствием паузы между импульсами. Плавный переход от мощности подогрева $P_{\text{ПОД}}$ к мощности сварки $P_{\text{СВ}}$ осуществлялся за время нарастания $\tau_{\text{НАР}}$, которое также задавалось программно.

При сварке по циклограмме с целью регулирования степени разогрева контакта между свариваемыми деталями изменялась величина усилия сжатия электродов $F_{\text{СВ}}$.

Первая серия образцов сваривалась при усилии $F_{\text{СВ}} = 7,5$ кН и параметрах режима $I_{\text{ПОД}} = 11$ кА; $I_{\text{СВ}} = 26$ кА; $\tau_{\text{ПОД}} = 0,3$ с; $\tau_{\text{НАР}} = 0,16 \dots 0,2$ с; $\tau_{\text{СВ}} = 0,2$ с. Результаты испытаний на прочность образцов представлены на рис. 10.

При этом соединение формирова-

лось в твердой фазе, т. е. при отсутствии общей зоны расплавления. Среднее значение усилия на отрыв $F_{\text{ОТР}}$ составило 18,5 кН при разбросе от 13,9 до 23,2 кН, что свидетельствует о повышении стабильности прочностных характеристик получаемых соединений.

Вторая серия образцов сваривалась при усилии $F_{\text{СВ}} = 5$ кН. Результаты испытаний на прочность образцов представлены на рис. 11. При этом соединение формировалось за счет образования общей зоны расплавления. При сварке с параметрами режима $I_{\text{ПОД}} = 11$ кА; $I_{\text{СВ}} = 26$ кА; $\tau_{\text{ПОД}} = 0,3$ с; $\tau_{\text{НАР}} = 0,2$ с; $\tau_{\text{СВ}} = 0,1$ с (см. рис. 11, а) среднее значение усилия на отрыв $F_{\text{ОТР}}$ составило 23,7 кН при разбросе от 20,85 до 27,58 кН.

Наибольшего эффекта повышения стабильности прочностных характеристик удалось достичь при параметрах режима $I_{\text{ПОД}} = 11$ кА; $I_{\text{СВ}} = 26$ кА; $\tau_{\text{ПОД}} = 0,3$ с; $\tau_{\text{НАР}} = 0,2$ с; $\tau_{\text{СВ}} = 0,2$ с (см. рис. 11, б). При этом среднее значение усилия на отрыв $F_{\text{ОТР}}$ образцов составило 26,5 кН, разброс значений – от 23,47 до 30,85 кН. Это свидетельствует



о значительном улучшении стабильности прочностных свойств соединений, получаемых при рельефной сварке с

программным управлением мощностью тепловложения, по сравнению с получаемыми сваркой на серийных машинах.

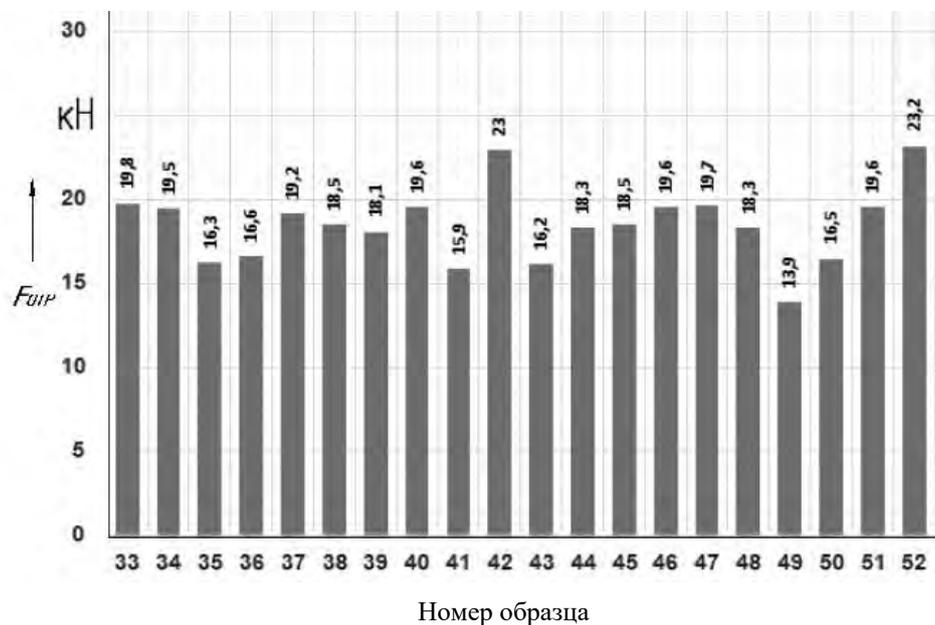


Рис. 10. Результаты испытаний на прочность образцов, сваренных при усилии $F_{св} = 7,5$ кН

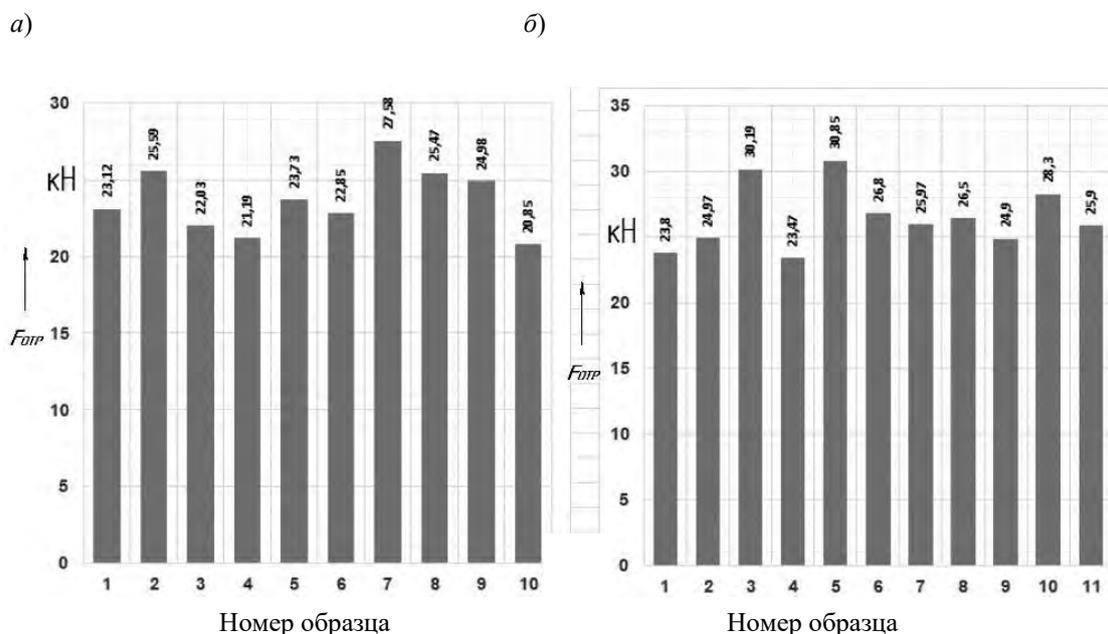


Рис. 11. Результаты испытаний на прочность образцов, сваренных при усилии $F_{св} = 5$ кН:
 а – $I_{под} = 11$ кА; $I_{св} = 26$ кА; $\tau_{под} = 0,3$ с; $\tau_{нар} = 0,2$ с; $\tau_{св} = 0,1$ с; б – $I_{под} = 11$ кА; $I_{св} = 26$ кА; $\tau_{под} = 0,3$ с; $\tau_{нар} = 0,2$ с; $\tau_{св} = 0,2$ с



Выводы

1. Разработана экспериментальная установка для контактной рельефной сварки Т-образных соединений с программным управлением мощностью тепловложения на базе машины контактной точечной сварки «Оливер» серии МТ-40 с контроллером фирмы «Chowel» WELCOM II, блока управления тиристорами и симисторами БУСТ2 и платы сбора данных National Instruments. Модернизация контактной сварочной машины Oliver МТ-40 осуществлялась путем интеграции блока БУСТ2 в узлы управления сварочной машиной. В программной среде LabVIEW разработан виртуальный регулятор цикла рельефной сварки, осуществляющий табличное задание напряжения управления U_y блоком БУСТ2 с интервалом, равным полупериоду сетевого напряжения. В результате формируется циклограмма мощности тепловложения.

2. В результате экспериментальных исследований определены оптимальные режимы рельефной сварки с программным управлением мощностью тепловложения, при которых обеспечивается максимальная прочность соеди-

нений. Объектом исследований являлись сварные соединения пластины толщиной 4 мм из горячекатаной стали СтЗпс и винта М8 с потайной головкой. Сварка образцов производилась по циклограмме с постоянным усилием сжатия электродов, при этом мощности тепловложения при подогреве $P_{\text{под}}$ и при сварке $P_{\text{св}}$ задавались программным путем с отсутствием паузы между импульсами. Плавный переход от мощности подогрева $P_{\text{под}}$ к мощности сварки $P_{\text{св}}$ осуществлялся за время нарастания $t_{\text{нар}}$ и также задавался программно.

3. Наибольшего эффекта повышения стабильности прочностных характеристик удалось достичь при параметрах режима $F_{\text{св}} = 5$ кН; $I_{\text{под}} = 11$ кА; $I_{\text{св}} = 26$ кА; $t_{\text{под}} = 0,3$ с; $t_{\text{нар}} = 0,2$ с; $t_{\text{св}} = 0,2$ с. При этом среднее значение усилия на отрыв $F_{\text{отр}}$ образцов составило 26,5 кН, разброс значений – от 23,47 до 30,85 кН. Это свидетельствует о значительном улучшении стабильности прочностных свойств соединений, получаемых при рельефной сварке с программным управлением мощностью тепловложения, по сравнению с получаемыми сваркой на серийных машинах.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Фурманов, С. М.** Пути совершенствования термдеформационных циклов контактной точечной и рельефной сварки: монография / С. М. Фурманов. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2019. – 274 с.
2. **Фурманов, С. М.** Компьютерное управление процессом контактной сварки с помощью среды графического программирования LabVIEW / С. М. Фурманов [и др.] // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2019. – № 2. – С. 54–62.
3. **Березиенко, В. П.** Технология сварки давлением: учебное пособие / В. П. Березиенко, С. Ф. Мельников, С. М. Фурманов. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2009. – 256 с.
4. **Фурманов, С. М.** О фазовом регулировании мощности тепловложения в межэлектродную зону при контактной сварке / С. М. Фурманов [и др.] // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2018. – № 1. – С. 80–91.



5. **Фурманов, С. М.** Аппаратная реализация корректирующей системы регулирования мощности тепловложения при контактной рельефной сварке / С. М. Фурманов [и др.] // Сварка и диагностика. – 2018. – № 5. – С. 35–40.

Статья сдана в редакцию 26 июня 2020 года

Дмитрий Николаевич Юманов, ассистент, Белорусско-Российский университет.

Сергей Михайлович Фурманов, канд. техн. наук, доц., Белорусско-Российский университет.

Иван Николаевич Смоляр, магистрант, Белорусско-Российский университет.

Ирина Дмитриевна Камчицкая, канд. техн. наук, доц., Белорусско-Российский университет.

Артур Олегович Коротеев, канд. техн. наук, доц., Белорусско-Российский университет.

Dmitry Nikolayevich Yumanov, assistant lecturer, Belarussian-Russian University.

Sergei Mikhailovich Furmanov, PhD (Engineering), Associate Prof., Belarussian-Russian University.

Ivan Nikolayevich Smolar, MSc student, Belarussian-Russian University.

Irina Dmitrievna Kamchitskaya, PhD (Engineering), Associate Prof., Belarussian-Russian University.

Artur Olegovich Koroteyev, PhD (Engineering), Associate Prof., Belarussian-Russian University.

