

УДК 621.791.763.2

**ОБ ОБЕСПЕЧЕНИИ ПРОЧНОСТИ СОЕДИНЕНИЙ, ПОЛУЧАЕМЫХ СПОСОБОМ
КОНТАКТНОЙ РЕЛЬЕФНОЙ СВАРКИ, БЕЗ ОБРАЗОВАНИЯ ЛИТОГО ЯДРА**

*канд. техн. наук А.Ю. ПОЛЯКОВ; канд. техн. наук, доц. С.М. ФУРМАНОВ;
канд. техн. наук, доц. Т.И. БЕНДИК; А.А. СТЕПАНОВ; М.С. КОЛОБОВА
(Белорусско-Российский университет, Могилев)*

Исследуется процесс контактной рельефной сварки. Рассмотрены варианты последовательного дозированного поэтапного ввода в межэлектродную зону электрической энергии посредством задания двухступенчатого импульса сварочного тока в совокупности с приложением к зоне сварки повышенного ковочного усилия после выключения тока. Показано, что независимо от характера ввода электрической энергии в межэлектродную зону увеличение усилия сжатия электродов относительно рекомендуемых в литературе значений во всех случаях приводит к снижению прочности соединений. Объяснением этому служат отсутствие в зоне сварки литого ядра или твердофазного кольца и наличие двух других зон – зоны активации и зоны схватывания металла свариваемых деталей.

Ключевые слова: *контактная рельефная сварка, импульс сварочного тока, дозированный ввод энергии, повышенное ковочное усилие, прочность соединения, твердофазное соединение, зона активации поверхностей, зона схватывания металла.*

В соответствии с Программой развития промышленного комплекса Республики Беларусь на период до 2020 года одним из приоритетов является снижение материало- и энергоемкости производства. При изготовлении некоторых сварных конструкций, особенно в условиях крупносерийного и массового производства (например, в автомобилестроении), оборудование потребляет существенное количество электроэнергии. Параметры режима сварки, обеспечивающие требуемое качество соединений, обычно устанавливаются в соответствии с рекомендациями многолетней давности. Сегодня благодаря интенсивному развитию приборостроения созданы различные аналого-цифровые устройства и датчики, позволяющие в режиме реального времени управлять сварочной машиной и, соответственно, кинетикой формирования сварных соединений. Основная цель данного управления – снижение энергоемкости процесса сварки при сохранении и возможном повышении заданного уровня прочности соединений. В первую очередь, это касается способов контактной сварки как наиболее производительных и легко поддающихся автоматизации.

Исследовательская часть. *Контактная рельефная сварка (КРС)* представляет собой способ сварки давлением, при котором образование неразъемного соединения происходит в результате пропуска импульсов сварочного тока через зажатые между электродами детали, на поверхности одной из которых предварительно имеется естественный или искусственный выступ (рельеф), по вершине которого концентрируются линии протекания сварочного тока. При этом наблюдается высокая плотность сварочного тока по вершине рельефа, что объясняется малой начальной площадью контакта деталей [1]. Контактная рельефная сварка имеет важное преимущество перед *контактной точечной сваркой (КТС)* – малая площадь контакта деталей при нагреве, ограничиваемая формой и размерами рельефа. Благодаря этому при КРС теплоотвод в свариваемые детали и электроды существенно уменьшается, а электрическая энергия затрачивается преимущественно на нагрев условного столбика металла высотой, равной суммарной толщине свариваемых деталей, и диаметром, равным диаметру рельефа [2]. При этом рельефные сварные соединения имеют повышенную прочность на начальной стадии их образования, что объясняется интенсивной радиально направленной пластической деформацией металла в области сварочного контакта [3]. Эта деформация в 10...15 раз больше, чем при КТС [4].

Несмотря на перечисленные достоинства, исследователи КРС ранее неоднократно предлагали усовершенствовать данный процесс в вопросе энергоэффективности. Подразумевалась КРС в твердой фазе, т.е. без расплавления металла свариваемых деталей [3]. Это позволило бы существенно уменьшить количество электрической энергии, потребляемой сварочной контактной машиной в каждом цикле сварки, при одновременном сохранении приемлемого уровня прочности формируемых сварных соединений. Однако на практике данный процесс был исследован недостаточно, что усугубляется спорными, на наш взгляд, рекомендациями о необходимости расчета режимов КРС по уравнению теплового баланса, первоначально разработанного только для КТС [4].

Первоначально нами был разработан способ КТС и КРС, при котором свариваемые детали устанавливаются и сжимаются между электродами сварочной машины с действующим в течение всей сварки усилием, пропускают через детали в течение времени $\tau_{\text{СВ}}$ импульс сварочного тока $I_{\text{СВ}}$, выключают ток и производят проковку сварного соединения в течение заданного времени $\tau_{\text{КОВ}}$, причем импульс сварочного тока задают многоступенчатым, длительность его протекания $\tau_{\text{СВ}}$ при задаваемых на каждой из ступе-

ней импульса значениях тока $I_{CB1}, I_{CB2}, \dots, I_{CBn}$ находят по формуле $\tau_{CB} = \tau_{CBФ1} + \tau_{CBФ2} + \dots + \tau_{CBФn}$, где $\tau_{CBФ1}, \tau_{CBФ2}, \dots, \tau_{CBФn}$ – фактические длительности протекания тока на каждой из ступеней его задания, каждую из которых определяют фактическим достижением требуемого значения суммарного тепловложения в зону сварки $Q_{ЭЭ}$, равного $Q_{ЭЭ} = Q_{ТР1} + Q_{ТР2} + \dots + Q_{ТРn}$, где $Q_{ТР1}, Q_{ТР2}, \dots, Q_{ТРn}$ – требуемые значения тепловложения в зону сварки для значений тока $I_{CB1}, I_{CB2}, \dots, I_{CBn}$ на каждой из ступеней его импульса (рис. 1) [5].

Задача заявляемого способа состояла в существенном уменьшении вероятности возникновения дефектов, а именно начальных и конечных выплесков расплавленного металла из зоны соединения при КТС и КРС.

Благодаря тому, что импульс сварочного тока многоступенчатый, имеется возможность плавной регулировки скорости деформации рельефов на каждом из основных этапов кинетики формирования соединения. Так как требуемое значение суммарного тепловложения в зону сварки $Q_{ЭЭ}$ задается как сумма требуемых значений тепловложений для каждой из ступеней импульса тока, имеется возможность определения фактической длительности протекания тока τ_{CB} на отдельных ступенях его импульса ($\tau_{CBФ1}, \tau_{CBФ2}, \dots, \tau_{CBФn}$), что в конечном итоге обеспечивает выключение сварочного тока контактной машиной в точном соответствии с достигнутым требуемым тепловложением в зону сварки. Это обеспечивает не только равномерность термомеханических процессов в зоне сварки со своевременным выключением сварочного тока, но и возможность дозированной вводу электрической энергии в межэлектродную зону на различных этапах нагрева [6].

Для реализации предложенного способа КТС и КРС была разработана система автоматического управления процессом КРС, содержащая контактную машину, управляемую от регулятора цикла сварки, аналого-цифровую плату сбора данных и устройство согласования, отличающаяся тем, что в устройстве согласования использованы электромагнитные реле и операционные усилители с возможностью выработки и усиления управляющих импульсов напряжения заданной амплитуды и формы на кабель управления регулятора цикла сварки [7].

Система автоматического управления процессом КРС содержит: контактную машину, представленную на рисунке 2 регулятором цикла сварки 1, электродами контактной машины 2 и блоком поджига тиристоров 3; датчик тока 4; пару экранированных кабелей 5 для регистрации напряжения межэлектродной зоны; аналого-цифровую плату сбора данных 6; устройство согласования 7, включающее в себя электромагнитные реле и операционные усилители; кабель управления 8; свариваемые детали 9; литую зону соединения свариваемых деталей 10.

Принцип работы системы: в процессе КРС аналого-цифровая плата сбора данных 6 на каждом из этапов кинетики формирования соединения воздействует на позицию «НАГРЕВ» регулятора цикла сварки 1 посредством кабеля управления 8 и устройства согласования 7 подачей низкоуровневых сигналов внешнего управления напряжением от 0 до 0,065 В. Регулятор с помощью тиристорного контактора 3 в первичной цепи сварочного трансформатора устанавливает требуемый сварочный ток во вторичной цепи в диапазоне от $0,41 \cdot I_{CB\max}$ до $I_{CB\max}$.

Плата сбора данных также регистрирует и обрабатывает мгновенные сигналы сварочного тока I'_{CB} и напряжения межэлектродной зоны $U'_{ЭЭ}$ посредством установленного на электродах контактной машины 2 датчика тока 4 и пары экранированных кабелей 5 с последующим расчетом и сравнением полной энергии, выделяемой в зоне сварки, с требуемыми значениями. Затем в определенный момент времени достижения энергией требуемого расчетного значения плата переключает электромагнитное реле уст-

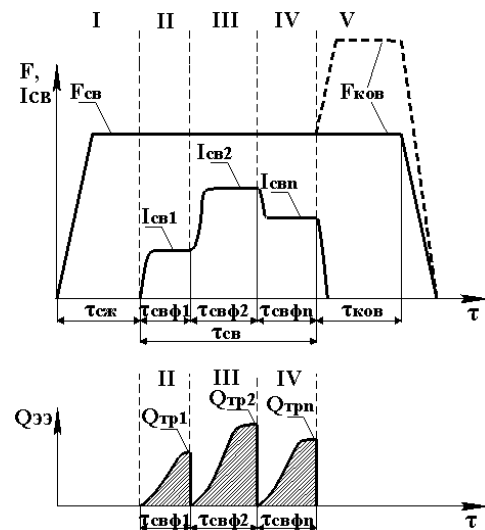


Рисунок 1 – Способ контактной точечной и контактной рельефной сварки

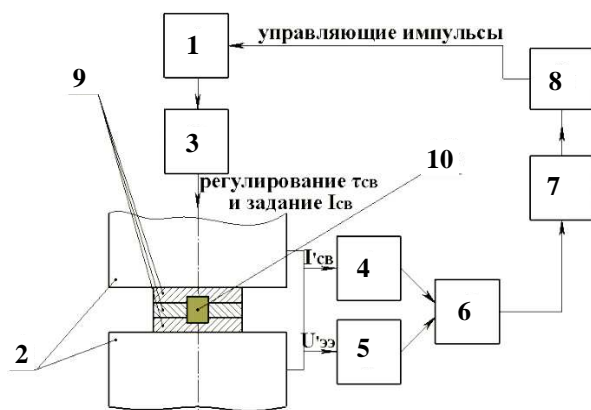


Рисунок 2 – Система автоматического управления процессом контактной рельефной сварки

ройства согласования 7, которое воздействует на позицию «ОГРАНИЧЕНИЕ ИМПУЛЬСА ТОКА» регулятора цикла сварки 1 и, соответственно, выключает сварочный ток. В результате обеспечивается автоматическая регулировка длительности протекания сварочного тока, причем требуемый уровень сварочного тока задается отдельно на каждом из этапов кинетики формирования сварного соединения, что стабилизирует формирование литой зоны 10 требуемых размеров и формы без наличия дефектов.

Далее для изучения предложенного способа КТС и КРС была разработана экспериментальная установка на базе системы автоматического управления процессом КРС. Принцип работы установки: непосредственно в процессе КРС (в режиме реального времени) аналого-цифровое устройство сбора данных посредством датчика тока и пары экранированных кабелей регистрирует с дискретностью 0,001 с мгновенные сигналы напряжения межэлектродной зоны и напряжения, пропорционального сварочному току, во временных интервалах 0,009 с. За каждый временной интервал программа среды LABVIEW последовательно рассчитывает кривые действующего сварочного тока и напряжения, сопротивления и мощности межэлектродной зоны, а также электрическую энергию, вкладываемую в межэлектродную зону. После этого в каждом временном интервале выделяется пиковое значение электрической энергии, вкладываемой в межэлектродную зону, после чего эти значения аккумулируются нарастающим итогом. Как только фактическая электрическая энергия, вводимая в межэлектродную зону, достигает значения, заданного в программе среды LABVIEW, устройство сбора данных вырабатывает импульсы напряжения, которые усиливаются устройством согласования, поступают по кабелю управления на регулятор цикла сварки и выключают сварочный ток. Причем программа среды LABVIEW позволяет задавать многоступенчатые импульсы тока определенной величины с дозированным вводом электрической энергии в межэлектродную зону на каждой из ступеней импульса тока. При работе установка игнорирует первоначальные настройки регулятора цикла сварки, т.е. осуществляется внешнее управление процессом КРС.

Далее с помощью экспериментальной установки мы исследовали процесс КРС заводских соединений засовов замков сувальдных производства ОАО «Могилевский завод «Строммашина» с заданием трехступенчатого импульса сварочного тока в соотношении «ток I_1 , равный 50% от расчетного тока I_2 – расчетный (максимальный) ток I_2 – ток I_1 , равный 50% от расчетного тока I_2 » и с соответствующим трехэтапным дозированным вводом электрической энергии в межэлектродную зону в соотношении «энергия, равная 5% от расчетной – расчетная энергия – энергия, равная 5% от расчетной». При этом расчетная энергия определялась по уравнению теплового баланса [3]. В результате прочность сварных засовов при испытании статическим нагружением на срез удалось повысить на 13% в сравнении с требуемой, а энергопотребление сварочной контактной машины снизилось на 35% [8]. При этом форма литой зоны из зауженной перешла в равномерно расширенную по всему сечению макрошлифа, а в ее структуре вместо мартенсита появилась равномерная мартенситно-бейнитная область, свидетельствующая о снижении скоростей нагрева и охлаждения металла в процессе сварки [6]. Годовая экономия электроэнергии при внедрении составила 1282133,29 Вт·ч на 180000 изделий.

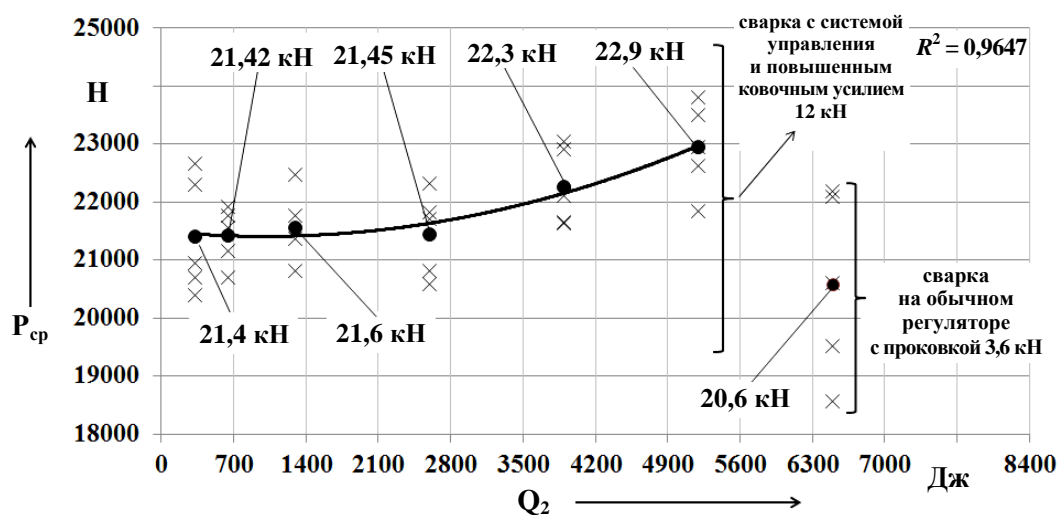
После этого использовали предложенный способ сварки в комбинации с приложением к зоне сварки повышенного ковочного усилия электродов $F_{\text{КОВ}}$ после выключения сварочного тока. Способом КРС на машине МТ-3201 сваривались образцы из двух пластин из стали 08кп размером 90×22 мм толщиной 2,5+2,5 мм. Выштампованный круглый рельеф располагался на одной из деталей.

Установлено, что трехступенчатый импульс тока с соотношением «ток I_1 , равный 50% от расчетного тока I_2 / расчетный (максимальный) ток I_2 / ток I_1 , равный 50% от расчетного тока I_2 » и с соответствующим дозированным вводом энергии в соотношении «энергия, равная 5% от расчетной / энергия, равная 60% от расчетной / энергия, равная 5% от расчетной» в комбинации с приложением к зоне сварки $F_{\text{КОВ}} = 12$ кН после выключения тока позволяет повысить прочность сварного соединения при испытании статическим нагружением на срез на 6...7% при уменьшении вводимой энергии на 30% относительно расчетного значения по уравнению теплового баланса.

Однако с точки зрения обеспечения прочности полученный результат не соответствовал ожидаемому, так как $F_{\text{КОВ}}$ подключалось сразу после третьей ступени импульса с 50%-ным током, выполнявшим функцию последующего подогрева зоны сварки. То есть ковочное усилие прикладывалось к сварному соединению, которое практически закристаллизовалось к моменту выключения тока.

Вследствие этого был проведен другой эксперимент. На машине МТ-3201 при КРС соединений, состоящих из 2 деталей толщиной 2 мм из низкоуглеродистой стали, использовали двухступенчатый импульс тока с соотношением «ток I_1 , равный 50% от расчетного тока I_2 – расчетный (максимальный) ток I_2 » и последующим приложением $F_{\text{КОВ}}$ после выключения сварочного тока. При этом на первой ступени импульса тока в межэлектродную зону дозированно вводилось 5% от расчетной энергии. Энергию, дозированно вводимую на второй ступени импульса тока, последовательно уменьшали: вводили 80% от расчетной энергии, затем 60%, 40, 20, 10 и 5%. Сравнение велось с изложенным в литературе режимом сварки, полученным в соответствии с уравнением теплового баланса. Затем проводились прочностные испытания всех сварных соединений статическим нагружением на срез.

В итоге установлено, что при уменьшении электрической энергии, вводимой в межэлектродную зону, в 10 раз относительно расчетного значения (согласно уравнению теплового баланса) прочность сварного соединения не уменьшилась, а даже повысилась, если сравнивать усилие разрушения по средним значениям: 20,6 кН – при сварке на базовом режиме без приложения $F_{\text{КОВ}}$; 21,4 кН – при сварке с использованием двухступенчатого импульса тока, дозированного вводом энергии и приложением $F_{\text{КОВ}} = 12$ кН после выключения тока (рис. 3). Характер разрушения образцов, сваренных на этом режиме, неоднозначный – разрушение возможно и срезом по сварной точке, и вырывом по основному металлу. Все 30 образцов, сваренных с использованием системы автоматического управления процессом, разрушились по основному металлу. При этом диаметр литого ядра соответствовал ГОСТ 15878-79.



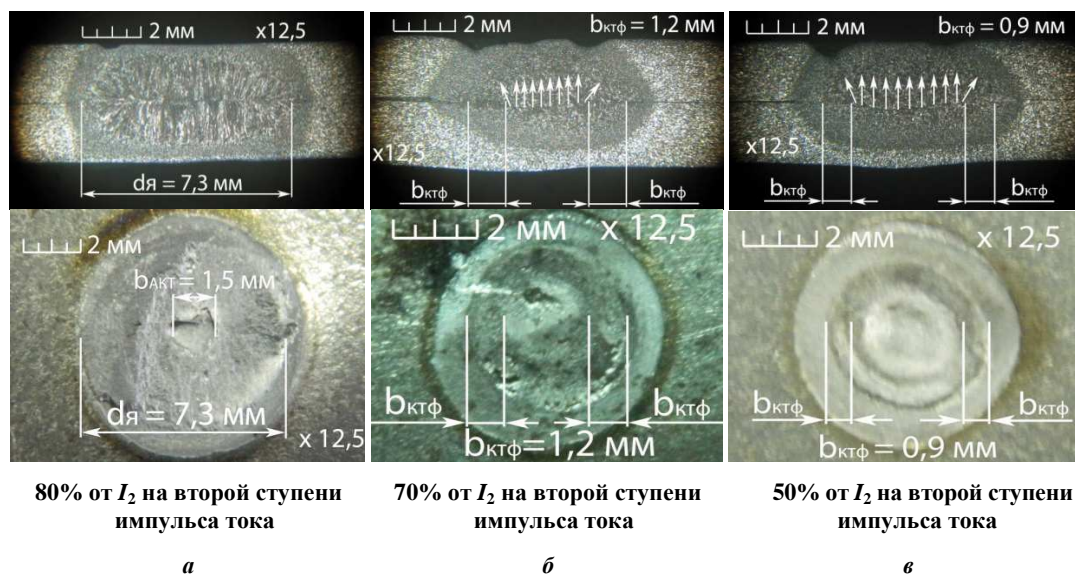
$P_{\text{ср}}$ – нагрузка, выдержанная образцом при испытании статическим нагружением на срез;
 R^2 – коэффициент достоверности аппроксимации

Рисунок 3 – Влияние ввода электрической энергии Q_2 на второй ступени импульса тока с последующим приложением $F_{\text{КОВ}}$ после выключения тока на прочность соединения

Для дальнейшей оптимизации полученного режима сварки был проведен следующий эксперимент. На машине МТ-3201 при КРС соединений, состоящих из 2 деталей толщиной 2 мм из низкоуглеродистой стали (по одному круглому выштампованному рельефу), мы двухступенчатым импульсом сварочного тока в два этапа дозированно вводили в межэлектродную зону по 5% от расчетной электрической энергии. На первой ступени импульса ток I_1 составлял 50% от расчетного тока I_2 . Ток I_2 , задаваемый на второй ступени импульса, последовательно уменьшали: задавали ток, равный 80% от расчетного, затем 70%, 60, 55 и 50%. После выключения сварочного тока во всех случаях к зоне сварки прикладывалась $F_{\text{КОВ}} = 12$ кН. Сравнение велось с режимом КРС, установленным в предыдущем эксперименте: двухступенчатый импульс тока с соотношением «ток I_1 , равный 50% от расчетного тока I_2 / расчетный (максимальный) ток I_2 »; введение в два этапа энергии, в 10 раз меньшей в сравнении с расчетной; приложение к зоне сварки $F_{\text{КОВ}} = 12$ кН после выключения сварочного тока.

В результате проведенного исследования установлено, что уменьшение сварочного тока на второй ступени импульса относительно расчетного (максимального) значения лишь на 20% приводит к уменьшению прочности сварного соединения уже на 14% (с 21,4 до 18,4 кН) независимо от приложения $F_{\text{КОВ}}$ к зоне сварки после выключения тока. И в дальнейшем тенденция к уменьшению прочности усиливается.

Таким образом, несмотря на наличие подогревочного тока I_1 , вводящего в межэлектродную зону, минимальную часть от расчетной электрической энергии, достаточную для стабилизации сопротивления межэлектродной зоны и избежания начального выплеска металла, только максимальный расчетный ток I_2 обеспечивает введение в межэлектродную зону за минимально возможное время такой части от расчетной электрической энергии, которой достаточно для взаимного расплавления и объемного взаимодействия металла свариваемых деталей. В противном случае не соблюдается требование жесткости режима сварки, в результате чего вместо литого ядра образуется твердофазное кольцо, обеспечивающее в конечном итоге меньшую прочность соединения (рис. 4). С другой стороны, следует отметить, что уменьшение сварочного тока на второй ступени импульса относительно расчетного (максимального) значения даже на 50% не приводит к полной потере прочности сварного соединения – наблюдается снижение лишь на 33% (14,3 кН вместо 21,4 кН).



$d_я$ – диаметр литого ядра; $b_{акт}$ – зона активации; $b_{ктф}$ – ширина кольца твердой фазы (стрелками показаны направления выдавливания металла при сварке)

Рисунок 4 – Макрошлифы и места разрушения соединения, отражающие влияние I_2 на характер формирования соединения

Таким образом, в случаях сварки некоторых малоответственных конструкций, к которым предъявляются требования невысокой прочности, твердофазное рельефное сварное соединение без расплавления со схватыванием по периметру может считаться допустимым. В таких случаях максимальный расчетный ток должен обеспечивать введение в межэлектродную зону за минимально возможное время такой части от расчетной электрической энергии, которой достаточно:

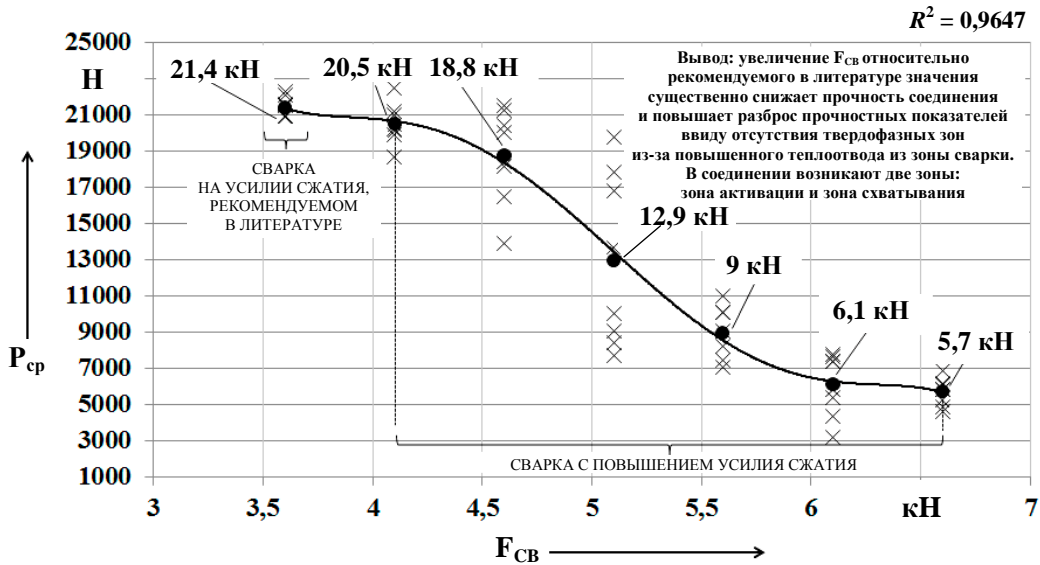
- для вдавливания центральной части рельефа в металл второй детали;
- для деформирования рельефа в обратную сторону с целью закрытия лунки от штамповки;
- для выдавливания наружной части рельефа в радиальном направлении в зазор между деталями;
- для нагрева металла рельефа, выдавленного в зазор, с целью образования твердофазного кольца в зоне соединения.

В таких случаях $F_{ков}$ необходимо прикладывать к зоне сварки после выключения сварочного тока с целью дополнительного упрочнения полученного твердофазного кольца и зоны схватывания металла вокруг него.

Далее было проанализировано влияние увеличения усилия сжатия электродов $F_{св}$ на прочность рельефного сварного соединения. На машине МТ-3201 КРС сваривались соединения, состоящие из 2-х деталей толщиной 2 мм из низкоуглеродистой стали, по одному круглому выштампованному рельефу. За базовый принимался режим, установленный в предыдущем эксперименте: использовался двухступенчатый импульс тока с соотношением «ток I_1 , равный 50% от расчетного тока I_2 – расчетный (максимальный) ток I_2 »; на каждом из уровней тока фиксированно вводилось по 5% от энергии, рассчитанной по уравнению теплового баланса; усилие сжатия при сварке составляло 3,6 кН по рекомендации [2]; после выключения тока к зоне сварки прикладывалось $F_{ков} = 12$ кН. При эксперименте усилие сжатия электродов $F_{св}$ последовательно увеличивали до 4,1; 4,6; 5,1; 5,5; 6,1 и 6,6 кН; $F_{ков}$ составляло: 14; 15,8; 17,8; 20,8; 22,8 и 24 кН соответственно (на машине МТ-3201 $F_{ков}$ выставляется автоматически в зависимости от установленного $F_{св}$).

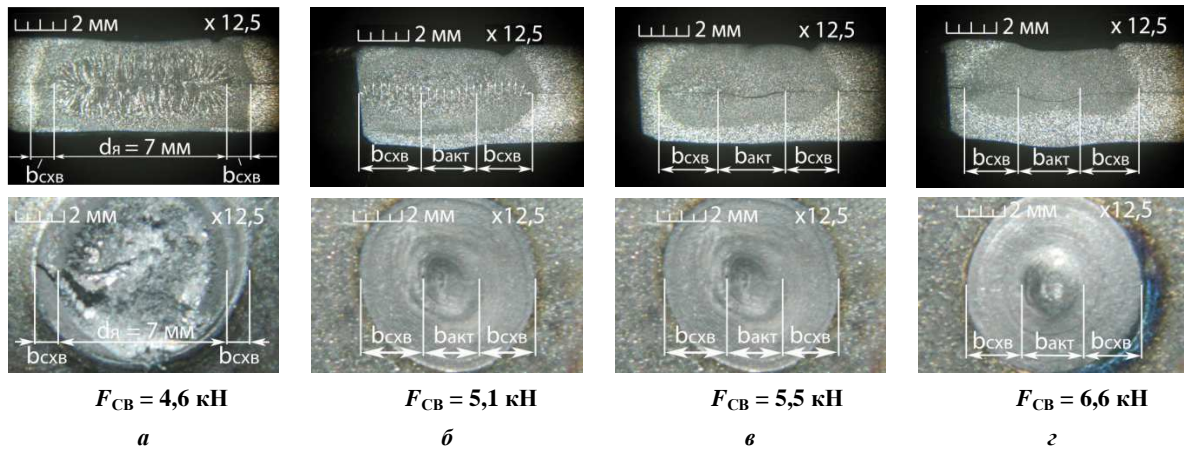
В результате эксперимента выявлено, что увеличение $F_{св}$ относительно рекомендуемого в литературе значения лишь на 0,5 кН приводит к падению прочности соединения с 21,4 до 20,5 кН, или на 4...5%. В дальнейшем тенденция усиливается: при увеличении $F_{св}$ на 3 кН прочность падает с 21,4 до 5,7 кН, или на 74 % (рис. 5). Это связано с тем, что при КРС с увеличением $F_{св}$ существенно увеличивается площадь контакта металла свариваемых деталей, что приводит к значительному уменьшению сопротивления межэлектродной зоны и, как следствие, повышенному теплоотводу из зоны сварки. Вместо твердофазного соединения образуется соединение, имеющее две зоны: зону активации поверхностей свариваемых деталей (прилегающую к вершине рельефа) и зону схватывания металла свариваемых деталей (зона физического контакта). В зоне активации из-за повышенного теплоотвода, концентрации линий протекания тока от центра к периферии рельефа, а также выдавливания металла рельефа в осевом и радиальном направлениях нагрев в вершине рельефа существенно уменьшается, что не позволяет в достаточной мере

ликвидировать из контакта оксидные пленки и окислы. Об этом свидетельствует металлический блеск данной зоны на картинах разрушения образцов, а также четко видимая линия стыка на макрошлифах (рис. 6). При сопоставлении макрошлифов четко просматривается уменьшение степени прогрева нижней детали с увеличением F_{CB} ввиду повышенного теплоотода из зоны контакта.



P_{CP} – нагрузка, выдержанная образцом при испытании статическим нагружением на срез;
 R^2 – коэффициент достоверности аппроксимации

Рисунок 5 – Влияние F_{CB} на прочность соединения



$d_{я}$ – диаметр литого ядра; $b_{акт}$ – зона активации; $b_{схв}$ – зона схватывания металла (стрелками показаны направления выдавливания металла при сварке)

Рисунок 6 – Влияние увеличения F_{CB} на характер формирования соединения

Закключение. В результате проведенных исследований изучен процесс контактной рельефной сварки по круглому выштампованному рельефу соединений, состоящих из двух деталей из низкоуглеродистой стали, с дозированным двухэтапным введением в межэлектродную зону электрической энергии, а также приложением к зоне сварки повышенного ковочного усилия после выключения сварочного тока.

Установлено следующее:

- для повышения прочности сварных соединений при контактной рельефной сварке повышенное ковочное усилие целесообразно прикладывать к зоне сварки сразу после выключения сварочного тока независимо от характера нагрева металла при сварке, так как упрочнение будущей литой зоны происходит только в момент кристаллизации ее расплавленного металла;

- при контактной рельефной сварке использование двухступенчатого введения электрической энергии в межэлектродную зону определенными токами – подогревочным, составляющим 50% от расчетного, и расчетным (максимальным) током – в совокупности с приложением к зоне сварки повышенного ковоч-

ного усилия после выключения тока позволяет в 8...10 раз снизить энергопотребление сварочной контактной машины в каждом цикле сварки без ущерба прочности соединений;

- в некоторых случаях контактной рельефной сварки малоответственных конструкций, воспринимающих незначительные эксплуатационные нагрузки, допускается уменьшать максимальный ток в двухступенчатом импульсе на 20...50%, что снижает прочность соединений лишь на 14...33% при испытаниях статическим нагружением на срез. Это объясняется образованием в соединении твердофазного кольца вместо литого ядра;

- при контактной рельефной сварке с двухступенчатым дозированным введением электрической энергии в межэлектродную зону увеличение усилия сжатия электродов лишь на 0,5 кН относительно рекомендуемых в литературе значений приводит к снижению прочности соединения на 4...5%, а увеличение на 3 кН – к снижению прочности на 74%. Это объясняется отсутствием в зоне сварки как литого ядра, так и твердофазного соединения с соответствующим наличием двух других зон – зоны активации и зоны схватывания металла свариваемых деталей – в связи с повышенным теплоотводом из зоны контакта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Выбор основных параметров режима контактной точечной и рельефной сварки на основе математических моделей процессов / В.П. Березиенко [и др.] // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. В. Промышленность. Прикладные науки. – 2009. – № 2. – С. 23–28.
2. Гуляев, А.И. Технология и оборудование контактной сварки / А.И. Гуляев. – М.: Машиностроение, 1985. – 256 с.
3. Гилевич, В.А. Технология и оборудование рельефной сварки / В.А. Гилевич. – Л.: Машиностроение, 1976. – 151 с.
4. Березиенко, В.П. Технология сварки давлением / В.П. Березиенко, С.Ф. Мельников, С.М. Фурманов. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2009. – 256 с.
5. Способ контактной точечной и/или рельефной сварки: уведомление о регистрации изобретения под № 19977 от 07.12.2015 по заявке № а 20131384 в Государственном реестре изобретений (авторы: А.Ю. Поляков, С.М. Фурманов, Т.И. Бендик, С.С. Короткевич, А.О. Булышко).
6. Поляков, А.Ю. Контактная рельефная сварка с автоматическим регулированием параметров режима: дис. канд. техн. наук: 13.02.2015 / А.Ю. Поляков. – Могилев, 2015. – 204 с.
7. Система автоматического управления процессом рельефной сварки: пат. 10481 (U) Респ. Беларусь, МПК В 23 К 11/10 / А.Ю. Поляков, С.М. Фурманов, Т.И. Бендик, С.С. Короткевич, А.О. Булышко; заявл. 18.11.2013; опубл. 30.12.2014.
8. Поляков, А.Ю. Разработка технологического процесса контактной рельефной сварки пакетных соединений засовов замков / А.Ю. Поляков // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2014. – № 3. – С. 56–67.

Поступила 13.01.2016

ON THE STRENGTH OF THE COMPOUNDS, PREPARED BY PROJECTION WELDING WITHOUT FORMING A MOLTEN CORE

A. POLYAKOV, S. FURMANOV, T. BENDIK, A. STEPANOV, M. KOLOBOVA

The results of the study of the projection welding. The variants of sequential dosing step input in the electrode area of electric power by setting a two-stage pulse welding current in conjunction with an application to the welding zone of high forging efforts after turning off the power. When welding critical structures for strength joints molten core of the desired diameter can be obtained by typing in the electrode area of electric power, reduced to eight to ten times compared with the calculated value of the heat balance equation, but the welding current at the second stage pulse should not be lower than estimated. When welding irresponsible designs perceiving low operating load, in conjunction instead of molten core may be prepared by solid ring without melting from the grasp of the perimeter by reducing the rated current of the two-stage pulse of up to two times. Whatever the nature of the input electrical energy in the electrode area increasing clamping force of the electrodes on recommended literature values in all cases leads to a decrease in bond strength due to the lack in the welding zone molten core or solid ring, and the presence of the other two zones – the activation zone and the zone setting metal parts to be welded.

Keywords: projection welding, impulse welding current, metered energy input, high forging force, bond strength, solid compound, surface activation zone, the zone setting of the metal.