

УДК 621.791.763.2

СНИЖЕНИЕ ЭНЕРГОЕМКОСТИ ПРОЦЕССОВ КОНТАКТНОЙ РЕЛЬЕФНОЙ СВАРКИ

А. Ю. ПОЛЯКОВ, А. А. СТЕПАНОВ

Научный руководитель В. П. КУЛИКОВ, д-р техн. наук, проф.
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

В последние годы на различных промышленных предприятиях постсоветского пространства и дальнего зарубежья при получении неразъемных соединений листового металла толщиной от 1 + 1 до 5 + 5 мм все чаще применяют высокопроизводительный и экологичный процесс контактной рельефной сварки (далее – КРС) взамен трудоемких и энергозатратных способов дуговой сварки. КРС является способом сварки давлением, а ее сущность заключается в реализации последовательности следующих действий со свариваемыми деталями, на одной из которых предварительно располагается искусственный или естественный выступ (рельеф):

1) сжатие холодных деталей электродами сварочной машины с увеличенными площадями контакта (основной параметр режима сварки – усилие сжатия электродов $F_{св}$);

2) выдержка холодных деталей в сжатом состоянии на протяжении определенного времени (основной параметр режима сварки – длительность предварительного сжатия электродов $t_{св}$);

3) пропускание импульса (импульсов) тока через сжатые детали (основной параметр режима сварки – величина сварочного тока $I_{св}$);

4) выдержка деталей в сжатом состоянии на протяжении определенного времени после выключения тока (второстепенный параметр режима сварки – длительность проковки $t_{пр}$).

Исследователи сварки давлением установили, что у каждого из перечисленных действий в процессе КРС есть определенная цель:

– предварительное сжатие деталей до включения тока направлено на стабилизацию омического сопротивления межэлектродной зоны $R_{ээ}$, включающего собственные сопротивления деталей и сопротивления контактов «деталь – деталь» и «электрод – деталь»;

– электроды с увеличенной площадью контакта минимизируют силовое воздействие на лицевые поверхности деталей, в результате чего улучшается их внешний вид после сварки (также повышен ресурс работы электродов);

– пропускание тока через межэлектродную зону используется для полезного нагрева и создания благоприятных условий по активации поликристаллических структур поверхностных слоев металла деталей с их последующим объемным взаимодействием и образованием прочных металлических связей;

– проковка используется для уменьшения поля остаточных напряжений в полученном (едином) объеме металла деталей, а также в зоне термического влияния вокруг него.

Для достижения поставленных целей процесса КРС (в рамках отдельных приведенных действий) многочисленными исследователями ранее был сформирован комплекс литературных рекомендаций. Его общим достоинством явились две следующие взаимосвязи между основными параметрами режима КРС (по аналогии с контактной точечной сваркой):

а) повышение параметров $I_{СВ}$ и $\tau_{СВ}$ при неизменности $F_{СВ}$ до определенных пределов увеличивает тепловложение в межэлектродную зону и способствует интенсификации электротермодеформационных процессов, происходящих в ней;

б) снижение параметра $F_{СВ}$ до определенных пределов при заданных значениях $I_{СВ}$ и $\tau_{СВ}$ также увеличивает тепловложение в межэлектродную зону.

При этом основным недостатком указанного комплекса рекомендаций явилось отсутствие у авторов четкого понимания структуры рельефных сварных соединений, получаемых при КРС с различным характером изменения параметра $R_{ЭЭ}$ при реализации типичных и нетипичных циклограмм нагрева металла межэлектродной зоны.

Дело в том, что именно параметр $R_{ЭЭ}$ лежит в основе понятия энергоемкости процесса КРС. Зависимость параметра $R_{ЭЭ}$ от усилия сжатия электродов и состояния обработки поверхностей свариваемых деталей выражается в динамике изменения площади контакта «деталь – деталь», в конечном счете определяющей плотность тока и, соответственно, полезный нагрев и теплоотвод металла всей межэлектродной зоны.

Попытка анализа параметра $R_{ЭЭ}$ в процессе КРС была успешно предпринята В. А. Гиллевицем в 70–80-х гг. XX в. При исследованиях КРС на переменном токе двух листов толщиной 2 + 2 мм из низкоуглеродистой стали (при сварке по одному выштампованному круглому сферическому рельефу габаритами 4,75 × 1,12 мм) он использовал относительно мягкий режим сварки: $I_{СВ}$ не более 15 кА; $\tau_{СВ} = 0,4$ с ($F_{СВ} = 3,6$ кН). В результате была построена кривая изменения параметра $R_{ЭЭ}$ во времени (рис. 1) при обеспечении зоны взаимного расплавления металла свариваемых деталей (в виде закристаллизовавшегося литого ядра). Данный эксперимент позволил выстроить поэтапную теорию образования рельефного сварного соединения с деформированием и последующим взаимным расплавлением металла свариваемых деталей.

Однако остались невыясненными три вопроса.

1. Распространяется ли данная теория на процессы КРС на жестких режимах сварки с реализацией типичных циклограмм нагрева металла межэлектродной зоны, в результате которых соединение формируется с взаимным расплавлением металла свариваемых деталей?

2. Распространяется ли данная теория на процессы КРС с реализацией нетипичных циклограмм нагрева металла межэлектродной зоны, в результате которых соединение формируется в твердом (твердофазном) состоянии, а его прочностные характеристики не падают при фактическом уменьшении тепловложения относительно расчетов уравнения теплового баланса (далее – УТБ) на основе анализа теплосодержания межэлектродной зоны?

3. Является ли предложенная теория убедительной в вопросе энергоемкости процесса КРС (общепринято, что КРС на жестких режимах является намного более энергоэффективной)?

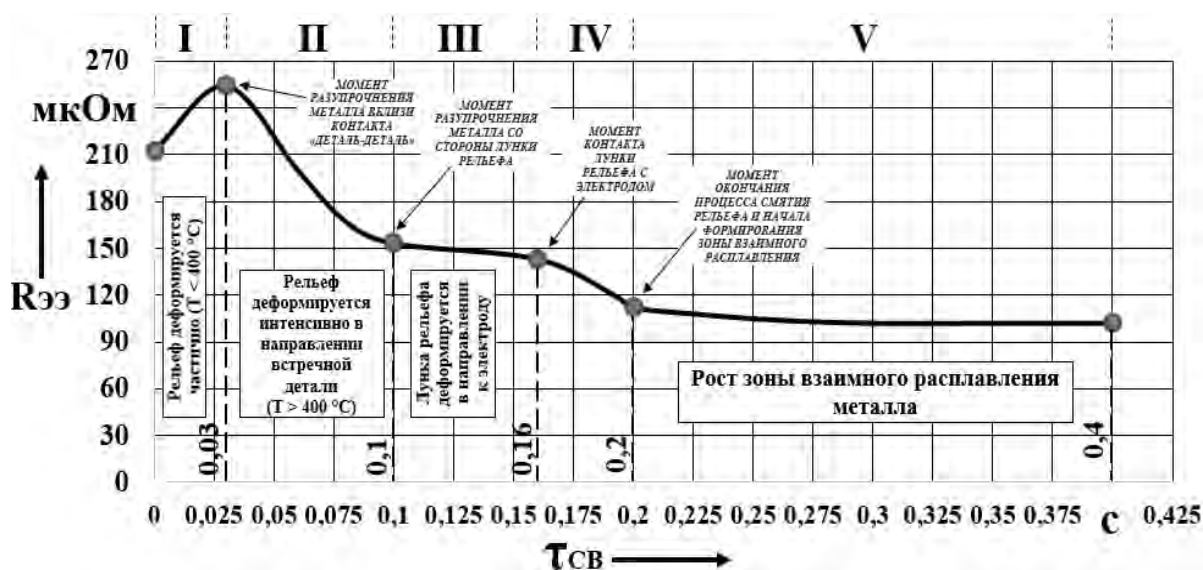


Рис. 1. Кривая изменения параметра $R_{ээ}$ по В. А. Гилевичу: I, II, III, IV, V – этапы процесса КРС (на мягком режиме сварки)

Для поиска ответов на указанные вопросы является актуальным временной анализ изменения параметра $R_{ээ}$, энергетических параметров, плотности тока в контакте «деталь – деталь» и его структуры на примере процесса КРС (на относительно жестком режиме сварки) пластин толщиной 3 + 3 мм из низкоуглеродистой стали в соответствии с режимами по УТБ с учетом литературных рекомендаций (по А. И. Гуляеву): $I_{св} = 16,5$ кА; $t_{св} = 0,38$ с; $F_{св} = 6,8$ кН; круглый рельеф габаритами 6 × 1,5 мм).

В конечном итоге это даст возможность понять различия в механизмах формирования соединений с взаимным расплавлением металла и соединений в твердом состоянии (без взаимного расплавления металла), на основании чего можно будет разработать отдельные УТБ для двух этих случаев, а также выявить резервы снижения энергоемкости процессов КРС при сварке на режимах в соответствии с УТБ и при реализации нетипичных циклограмм нагрева металла межэлектродной зоны.