

## КОНТАКТНАЯ ТОЧЕЧНАЯ СВАРКА СО СПЕЦИАЛЬНОЙ ПОДГОТОВКОЙ СВАРИВАЕМЫХ КРОМОК\*

Ю. А. ЦУМАРЕВ, канд. техн. наук (Белорусско-Российский ун-т, г. Могилев, Республика Беларусь)

Показано, что подготовкой кромок соединяемых деталей в виде скосов, обеспечивается наклонное расположение сопрягаемых плоскостей, способствующее снижению мощности при формировании сварной точки, уменьшению вредного влияния изгиба на несущую способность сварного соединения при контактной точечной сварке и снижению степени неравномерности распределения усилий среза и отрыва по сечению литого ядра.

*Ключевые слова:* контактная точечная сварка, подготовка кромок, наклонная плоскость контакта, распределение усилий, разрушающее усилие

Контактная точечная сварка широко применяется в современной промышленности, особенно в автомобиле- и авиастроении благодаря высокой производительности труда, низкой энергоемкости, отсутствию присадочных материалов и защитных сред, а также хорошим гигиеническим условиям труда и сравнительно легкой роботизации процесса. Характерной особенностью этого способа сварки является использование только нахлесточных соединений при сравнительно значительной ширине нахлестки, которая составляет от 7 до 12 толщин соединяемых заготовок [1]. Точечной контактной сваркой обычно соединяют детали толщиной до 6 мм, а иногда этот диапазон расширяется до 10 мм. При большей толщине возникают серьезные затруднения, связанные с сильным шунтированием тока и низкой эксплуатационной стойкостью электродов [1]. Кроме того, возрастает вредное влияние изгибающего момента на работоспособность сварных соединений, обусловленное увеличением эксцентриситета продольных сил, которые приложены к соединяемым деталям. По мере увеличения толщины соединяемых деталей существенно возрастает также мощность оборудования, используемого для их контактной точечной сварки.

Для повышения характеристик работоспособности точечных сварных соединений, в том числе статической и циклической прочности, применяется их упрочнение посредством прослойки клея, вводимого между соединяемыми деталями в области нахлестки [2]. Однако эффективность этого приема быстро снижается с увеличением толщины свариваемых деталей. Если при толщинах 0,5 + 0,5 мм наличие клеевой прослойки повышает статическую прочность в 5 раз, то при толщинах 2,5 +

+ 2,5 мм степень упрочнения составляет всего 70 % [2, 3]. По данным работы [2] при толщине листов более 4 мм статическая прочность от введения клея повышается столь незначительно, что применение его становится экономически нецелесообразным. Это обстоятельство авторы работы [2] связывают с низкой прочностью клеевых сварных швов при их работе в условиях неравномерного отрыва, имеющего место из-за наличия изгибающего момента в соединении нахлесточного типа. Авторы работы [3] считают даже, что при толщинах свариваемых алюминиевых деталей, превышающих 2 мм, клепаные соединения более предпочтительны, чем сварные или клеесварные.

Для частичного устранения вредных явлений, связанных с увеличением толщины свариваемых деталей при контактной точечной сварке, в данной работе предлагается выполнять специальную подготовку кромок в виде скосов по всей области нахлестки. В результате точечное соединение приобретает вид, показанный на рис. 1. Размеры известного соединения приняты по рекомендациям работы [1] для толщины 5 + 5 мм.

Геометрические размеры предлагаемого соединения (рис. 1, б) выбирали таким образом, чтобы в обоих вариантах просвет между рабочими торцами электродов был одинаковым, т. е. равным 10 мм. При этом предполагалось, что такой выбор геометрии и размеров позволит проводить кон-

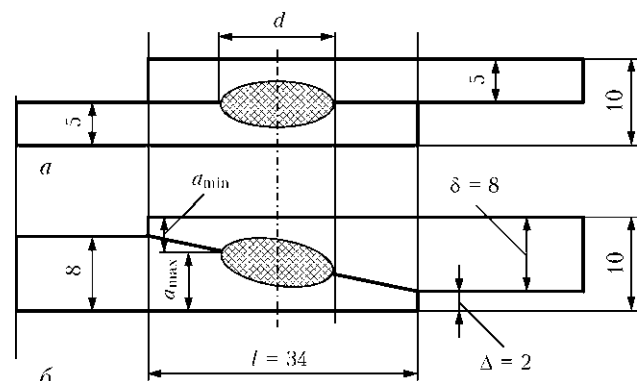


Рис. 1. Схемы сварных соединений, выполненных контактной точечной сваркой без (а) и с подготовкой кромок (б)

\* В порядке обсуждения.

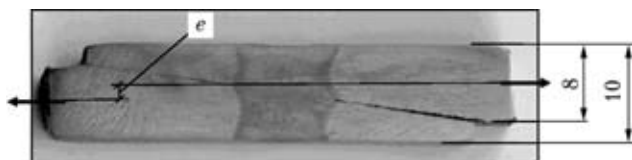


Рис. 2. Макрошлиф (X1) сварного соединения деталей из стали 10 кп толщиной 8 + 8 мм, имеющего скосы по сопрягаемым поверхностям

тактную точечную сварку соединения по варианту 1, б на режимах, которые рекомендуются для сварки пластин толщиной 5 + 5 мм, не имеющих скосов соединяемых кромок.

Наклонное расположение плоскости контакта свариваемых деталей в предлагаемом варианте (рис. 1, б) приводит к нарушению осевой симметрии в процессе нагрева при образовании сварного соединения. В первую очередь это проявляется в том, что участки литого ядра, прилегающие к краям нахлестки, формируются в условиях значительной разницы в толщинах соединяемых элементов (минимальная толщина, обозначенная на рис. 1, б как размер  $a_{\min}$ , не равна максимальной толщине  $a_{\max}$ ). В то же время центральная область литого ядра формируется в условиях, характерных для сварки деталей одинаковой толщины. Это приводит к увеличению плотности тока на периферии сварной точки из-за растекания тока в более толстом элементе [1]. Однако при этом отсутствует явление более сильного притока теплоты в один из охлаждаемых электродов, поскольку оба электрода находятся в одинаковых условиях. Различие в толщинах  $a_{\min}$  и  $a_{\max}$  можно оценить с помощью следующих формул:

$$a_{\min} = \frac{\delta + \Delta}{2} - \frac{d}{2l}(\delta - \Delta), \quad (1)$$

$$a_{\max} = \frac{\delta + \Delta}{2} + \frac{d}{2l}(\delta - \Delta), \quad (2)$$

где  $d$ ,  $\delta$ ,  $\Delta$  и  $l$  — размеры соединения, показанные на рис. 1, б.

Анализ формул (1) и (2) показывает, что соотношение  $a_{\max}/a_{\min} = 2,5$ , что меньше трехкратного значения, при котором возникают заметные сложности в формировании полноценного литого ядра [1]. Проведенные эксперименты показали, что при контактной точечной сварке заготовок из низкоуглеродистой стали, собранных в соответствии

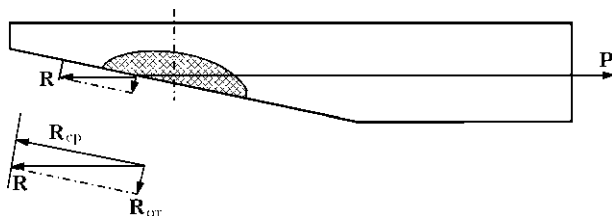


Рис. 3. Схема равновесия одной из деталей предлагаемого сварного соединения

с рис. 1, б, действительно не возникает никаких затруднений, обусловленных наклоном плоскости контакта. Исследование макроструктуры (рис. 2) показало, что литое ядро вытянуто вдоль плоскости контакта заготовок и в сварном соединении отсутствуют какие-либо дефекты, связанные с наличием скосов в соединяемых деталях.

При увеличении диаметра сварной точки  $d$  или уменьшении нахлестки  $l$  будет возрастать разница между значениями  $a_{\min}$  и  $a_{\max}$ . Если это будет вызывать появление затруднений в процессе образования литого ядра требуемых размеров и формы, можно рекомендовать применение электродов с некруглой рабочей поверхностью, вытянутой в направлении, перпендикулярном размеру  $l$  [4, 5]. При этом будет снижаться и коэффициент концентрации напряжений, обусловленный сгущением силовых линий в основном металле над точкой [6].

Благодаря предложенной подготовке кромок соединяемых деталей уменьшается не только просвет между рабочими торцами электродов, соответствующим образом снижающим требуемую мощность при сварке, но и улучшаются условия формирования сварного соединения. Это улучшение связано с уменьшением эксцентриситета  $e$  продольных сил, приложенных к деталям. В традиционном варианте сварного соединения значение эксцентриситета  $e$  равно толщине каждой из соединяемых деталей, а в предлагаемом  $e = \Delta = 2$  мм. Таким образом, в предлагаемом сварном соединении достигается четырехкратное уменьшение эксцентриситета приложенных сил с соответствующим снижением влияния деформаций от изгиба на работоспособность изделий.

На рис. 3 показано равновесие одной из соединяемых деталей предлагаемого сварного соединения. В соответствии с принципом освобожденности от связей взамен отброшенной связи приложена ее реакция  $R$ , которая по теореме о двух силах может быть приведена к равнодействующей. Важно, что равнодействующая распределенных сил, составляющих реакцию  $R$ , приложена в точке, лежащей на линии действия приложенной силы  $P$ . Поэтому ее точка приложения лежит недалеко от центра тяжести сечения сварной точки. Таким образом, она может быть представлена в виде системы параллельных сил, распределенных практически равномерно по всей плоскости сечения точки.

Реакцию отброшенной связи  $R$  можно разложить на составляющие в соответствии с векторной суммой  $R = R_{cp} + R_{от}$ , где  $R_{cp}$ ,  $R_{от}$  — равнодействующая усилий соответственно среза и отрыва.

Векторы  $R$  и  $R_{от}$  приложены в одной точке, поэтому степень равномерности распределения уси-

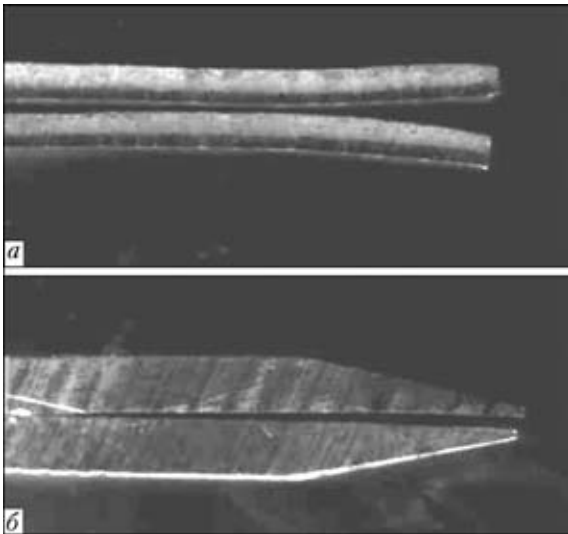


Рис. 4. Внешний вид образцов после проведения механических испытаний на растяжение: *а* — традиционные образцы; *б* — образцы со скосом кромок

лий отрыва столь же высока, как и степень распределения сил, составляющих полную реакцию.

Соответственно будет высокой и степень равномерности распределения системы параллельных сил отрыва, составляющих полную реакцию **Р**. Поэтому предлагаемое сварное соединение не работает в условиях неравномерного отрыва, ухудшающих работоспособность клеевых швов.

В традиционном сварном соединении полная реакция связи не может быть приведена к равнодействующей, так как любое сечение сварной точки лежит в стороне от линии действия приложенной силы. Поэтому степень неравномерности распределения усилий (в том числе и усилий отрыва) будет значительно большей.

Экспериментальную проверку эффективности предложенного технического решения проводили путем сравнительных испытаний на статическое растяжение двух партий образцов по пять штук в каждой партии. Размеры и форма образцов обеих партий соответствовали данным, приведенным на рис. 1. При этом первую партию составляли образцы толщиной 5 + 5 мм (см. рис. 1, *а*), образцы

второй партии имели толщину 8 + 8 мм со скосом (см. рис. 1, *б*). Результаты испытаний показали, что среднее разрушающее усилие для образцов первой партии составляло 21950 кПа, а для образцов второй партии — 28100 кПа. Таким образом, прочность образцов второй партии, имеющих предлагаемую подготовку кромок, была на 28 % выше, чем у образцов, выполненных по традиционной схеме. Одной из причин, по-видимому, было уменьшение влияния изгиба, обусловленное эксцентриситетом приложенных сил. На рис. 4 показаны части образцов после проведения испытаний. На рис. 4, *а* видно, что в процессе испытаний образцы традиционного сварного нахлесточного соединения приобрели изогнутую форму, тогда как образцы со скосами (рис. 4, *б*) остались прямыми.

В заключение следует отметить, что подготовка кромок соединяемых деталей в виде скосов, обеспечивающих наклонное расположение сопрягаемых плоскостей, снижает мощность оборудования при формировании сварной точки, вредное влияние изгиба на несущую способность сварного соединения при контактной точечной сварке и степень неравномерности распределения усилий среза и отрыва по сечению литого ядра.

1. *Технология* и оборудование контактной сварки / Б. Д. Орлов, Ю. В. Дмитриев, А. А. Чакалев и др. — М.: Машиностроение, 1975. — 536 с.
2. *Шавырин В. Н., Рязанцев В. И.* Клеесварные конструкции. — М.: Машиностроение, 1981. — 168 с.
3. *Рязанцев В. И., Федосеев В. А., Абин Н. Н.* Технико-экономическая эффективность применения сварных, клеесварных и клепаных соединений // Свароч. пр-во. — 1984. — № 1. — С. 28–29.
4. *Пат. 6379, ВУ (С1).* Электрод для точечной контактной сварки / Е. Ю. Латыпова, Ю. А. Цумарев, И. М. Кузменко, В. А. Балышева. — Заявл. 09.08.2000. — Опубл. 30.09.2004.
5. *Пат. 6500, ВУ (С1).* Электрод для контактной точечной сварки / В. А. Попковский, Е. Ю. Латыпова, Ю. А. Цумарев, В. А. Балышева. — Заявл. 12.12.2000. — Опубл. 30.09.2004.
6. *Сварка* в машиностроении: Справочник в 4 т. / Под ред. В. А. Винокурова. — М.: Машиностроение, 1979. — Т. 3. — 520 с.

It is shown that beveled edge preparation of the parts to be welded ensures an inclined position of the mated planes, promoting a lowering of power at spot weld formation, reduction of harmful influence of bending on the load-carrying capacity of the welded joint in resistance spot welding and lowering of the degree of non-uniformity of shear and tearing force distribution across the cast nugget section.

Поступила в редакцию 29.12.2009