

ФОРМИРОВАНИЕ ЗОНЫ СОЕДИНЕНИЯ РАЗНОТОЛЩИННЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ КОНТАКТНОЙ ТОЧЕЧНОЙ СВАРКЕ

*Канд. техн. наук ДЕМЧЕНКО Е. Б., инж. ЖУК А. Е.,
докт. техн. наук БЕРЕЗИЕНКО В. П.*

*Белорусский национальный технический университет,
Могилевский государственный технический университет*

При соединении деталей неравной толщины возникают проблемы, связанные с характером распределения тока [1], отвода теплоты от расплавленной зоны в электроды [2], пониженным сопротивлением деформации тонкой детали [3] и др., которые приводят к резкому изменению физико-механических характеристик, структурных параметров и геометрии зоны сварного соединения. Возрастание плотности тока на периферии контакта, разное удаление зоны расплавления от рабочей поверхности электродов, высокий градиент температур в тонком листе, значительный теплоотвод в электрод ведут в свою очередь к смещению ядра и уменьшению проплавления тонкой детали. При большой разнице в толщине возникает непровар. Повышение температуры тонкой детали усиливает ее деформацию, способствует появлению глубоких вмятин от электродов, увеличению зазоров между деталями. При применении жестких режимов растут плотность тока на периферии и склонность к выплескам [4]. Эти явления проявляются даже при значительной разнице в толщинах деталей.

Поэтому задачей исследования процесса формирования зоны соединения разнотолщинных материалов при контактной точечной сварке стал поиск такой технологии, которая обеспечила бы образование ядра с оптимальным соотношением размеров (диаметра к высоте) при стабильном процессе сварки и должное качество наружных поверхностей деталей. Эту задачу решали исходя из разработки конструкции сварочных электродов [5], изучения влияния параметров режима сварки (сварочный ток, усилие обжатия деталей, время сварки и др.) на физико-механические характеристики, структурообразование и геометрические размеры зоны сварного

соединения, а также определения оптимальных параметров режима сварки.

Экспериментальные исследования процесса формирования и влияния параметров режима сварки на качество сварного соединения разнотолщинных и разнородных материалов проводили на серийной установке для контактной точечной сварки типа МТ-1614 с игнитронными преобразователями тока. В ходе исследований контролировали время сварки, величину сварочного тока, усилия сжатия электродов с применением стандартных методик. В качестве изучаемых образцов использовали холоднокатаную листовую сталь марки 08КП толщиной 0,8 и 2,0 мм. Применяли дисперсно-упрочненные медные электроды различного диаметра. Режимы сварки: ток $I_{св} = 10$ кА; время сварки $t_{св}$ в ходе экспериментов изменяли в пределах 0,12...0,28 с; усилие сжатия электродов $P = 1000...3000$ Н.

Исследование геометрии сварных соединений проводили при помощи фотографий микроструктур шлифов, полученных при помощи сканирующего микроскопа «CAMECA» (оптическое увеличение $\times 50$).

По результатам экспериментов для каждого из исследуемых параметров были рассчитаны средние величины

$$X_{ср} = \frac{\sum X}{n},$$

где X – значение параметра; n – число значений.

Среднеквадратическое отклонение рассчитывалось по формуле

$$\sigma = \sqrt{\frac{n \sum X^2 - (\sum X)^2}{n(n-1)}}.$$

Для расчета дисперсии использовали формулу

$$D = \frac{n \sum X^2 - (\sum X)^2}{n(n-1)}.$$

Все зависимости параметров режима сварки построены на основе аппроксимации результатов по логарифмической зависимости.

На рис. 1 представлены микроструктуры зоны сварных соединений в процессе сварки сталей толщиной 0,8 и 2,0 мм при изменении времени протекания сварочного тока от 0,12 до 0,32 с и постоянном усилии сжатия электродов 2000 Н.

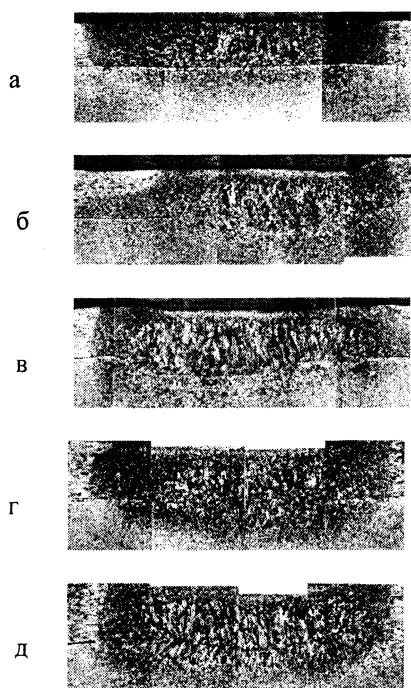


Рис. 1. Микроструктуры зоны сварного соединения при различном времени сварки $t_{св}$

На рис. 2 представлены зависимости изменения диаметра $d_{я}$ и высоты $h_{я}$ ядра, а также диаметра $d_{отп}$ и высоты $h_{отп}$ отпечатка от времени протекания сварочного тока $t_{св}$.

Анализ геометрии формы и структуры точек контактной сварки показал, что с увеличением $t_{св}$ происходит значительный рост $d_{я}$ с 3,7 до 5,3 мм и $d_{отп}$ – с 5,1 до 5,7 мм. При этом $h_{я}$ и $h_{отп}$ увеличиваются менее значительно – соответственно с 1,1 до 1,4 мм и с 0,15 до 0,25 мм.

Такой характер изменения параметров сварного соединения при увеличении длительности

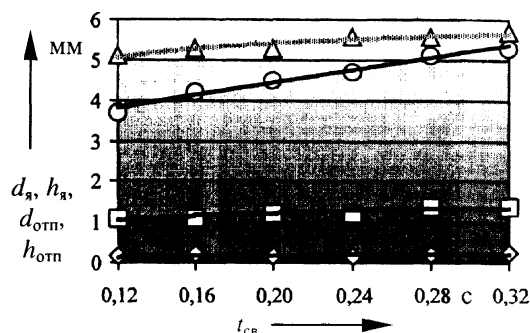


Рис. 2. Влияние времени сварки на параметры сварного соединения: $\circ$ – диаметр ядра; $\square$ – высота ядра; $\triangle$ – диаметр отпечатка; $\diamond$ – высота отпечатка

действия сварочного тока объясняется выделением большего количества теплоты в зоне контакта свариваемых деталей, повышением пластичности материала, а также геометрией рабочих поверхностей электродов.

При $t_{св} = 0,12$ с наблюдается практически полный непровар деталей. Возникающее ядро расплавленного металла сдвинуто в тонкую заготовку. Размеры отпечатка сравнимы с размерами отпечатков при более высоком времени сварки. С увеличением времени сварки до $t_{св} = 0,32$ с ядро приобретает форму одностороннего вогнутого эллипса. Наблюдаются явное вытеснение металла из зоны кристаллизации и образование пластического пояска, свойства которого в значительной степени определяют свойства сварного соединения.

Результаты исследования показали, что наиболее оптимальным режимом процесса сварки является режим при времени протекания сварочного тока $t_{св} = 0,24$ с (рис. 1г). Ядро имеет эллиптическую форму, расположение его относительно поверхности контакта деталей симметрично, размеры и прочностные характеристики зоны соединения соответствуют рекомендуемым для данных толщин сталей.

На рис. 3 представлены микроструктуры зоны сварных соединений при изменении усилия сжатия от 1000...3000 Н с постоянным временем протекания сварочного тока $t_{св} = 0,24$ с.

На рис. 4 даны зависимости изменения $d_{я}$ и $h_{я}$, а также $d_{отп}$ и $h_{отп}$ от усилия сжатия электродов.

Анализ геометрии формы и структуры точек контактной сварки свидетельствует о том, что с ростом усилия сжатия электродов происходит

уменьшение диаметра ядра с 4,8 до 4,2 мм и высоты ядра с 1,6 до 1,1 мм при увеличении диаметра отпечатка с 5,2 до 5,7 мм и высоты отпечатка с 0,15 до 0,30 мм.

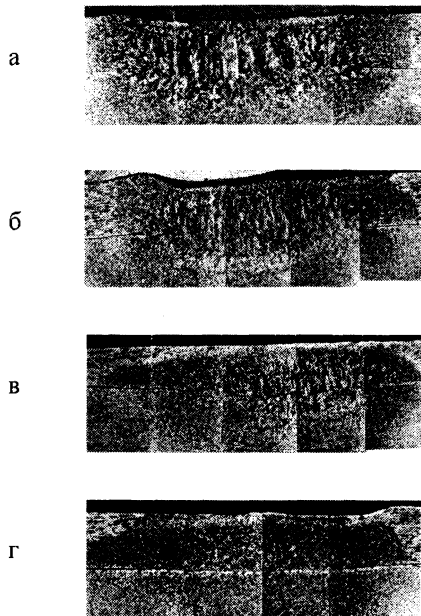


Рис. 3. Микроструктуры зоны сварного соединения при различном усилии сжатия

При повышении усилия сжатия электродов возникает значительная пластическая деформация, приводящая к подавлению роста расплавленного ядра с вытеснением металла в околошовную зону и образованием пластического пояска. Это подтверждается стабильным ростом $h_{\text{отп}}$ и $d_{\text{отп}}$. При этом соответственно уменьшаются размеры ядра.

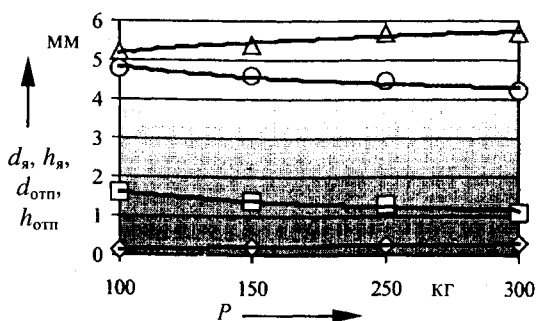


Рис. 4. Влияние усилия сжатия на параметры сварного соединения: ○ – диаметр ядра; □ – высота ядра; △ – диаметр отпечатка; ◇ – высота отпечатка

При $P = 1000$ Н ядро расплавленного металла сдвинуто в сторону тонкой заготовки. Размеры

ядра сравнимы с размерами при высоком времени сварки. При увеличении P до 3000 Н ядро уменьшается и имеет форму одностороннего вогнутого эллипса. Наблюдаются явное вытеснение металла из зоны кристаллизации и образование пластического пояска, свойства которого в значительной степени определяют свойства сварного соединения.

Исследования показали, что наиболее оптимальным режимом процесса сварки является режим при времени сварки $t_{\text{св}} = 0,24$ с и усилии сжатия электродов $P = 3000$ Н (рис. 3в). В этом случае ядро имеет эллиптическую форму, расположение его относительно поверхности контакта деталей симметрично, размеры и прочностные характеристики соответствуют рекомендуемым.

ВЫВОДЫ

1. Проведенные теоретические и экспериментальные исследования процесса формирования соединений разнотолщинных материалов показали принципиальную возможность получения качественных соединений при правильном выборе параметров режима сварки.

2. Установлено, что при сварке разнотолщинных материалов существенное влияние на геометрию и форму ядра оказывают время сварки и усилие сжатия электродов.

3. Увеличение времени сварки ведет к росту размеров литого ядра, а усилия сжатия – к их уменьшению.

ЛИТЕРАТУРА

1. Технология и оборудование контактной сварки: Учеб. пособие / Б. Д. Орлов, Ю. Б. Дмитриев, А. А. Чакалев и др. – М.: Машиностроение, 1975. – 536 с.
2. Рябкин Д. М., Рябов В. Р., Гуревич С. М. Сварка разнородных металлов. – М.: Техника, 1975. – 208 с.
3. Исследование методом конечных элементов образования литого ядра при контактной точечной сварке // Study of nugget formation in resistance spot welding using finite element method / C. L. Tsai, O. A. Jammal, D. W. Edinson // Abstr. Pap. Present. 71st AWS Annu. Meet. and 21st Int. AWS Braz. and Solder. Conf. Miami, Fla, Apr. 22–27, 1990. – Miami (Fla), 1990. – С. 51–53.
4. Козловский С. Н. Критерий оценки режима контактной точечной сварки // Сварочное производство. – 1994. – № 9. – С. 25–28.
5. Демченко Е. Б., Березиенко В. П., Жук А. Е. О влиянии параметров режима сварки и проковки на структуру и работоспособность точечных соединений // Материалы междунар. симпоз. «Сварка и родственные технологии». – Мн., 1999. – С. 63–65.