

УДК 621.791.763.2
ОЦЕНКА ГЕОМЕТРИИ И ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЗОНЫ
ВЗАИМНОГО РАСПЛАВЛЕНИЯ МЕТАЛЛА ПРИ КОНТАКТНОЙ
РЕЛЬЕФНОЙ СВАРКЕ

А. Ю. ПОЛЯКОВ, В. П. КУЛИКОВ, А. А. СТЕПАНОВ
ГУ ВПО «БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Могилев, Беларусь

С точки зрения теории сварочных процессов, по аналогии со сваркой плавлением, контактная рельефная сварка (как разновидность «Р, t – процесса» сварки давлением) имеет важную отличительную особенность в сравнении с обычными металлургическими процессами – относительная неравновесность реакций.

Малый объем взаимного расплавления металла свариваемых деталей в комбинации с небольшой длительностью протекания импульса сварочного тока (десятые доли секунды) обуславливают значительные скорости нагрева и охлаждения металла. Это не позволяет реакциям, протекающим в зоне взаимодействия металла деталей (с расплавлением или без него) и теплоотвода, дойти до состояния полного равновесия.

При этом в сравнении со сваркой плавлением и пайкой, контактная рельефная сварка характеризуется относительно незначительными превращениями вещества (металла), но существенным его движением в контакте «деталь–деталь» межэлектродной зоны ввиду упругопластической деформации, в 10...15 раз более интенсивной в сравнении с контактной точечной сваркой.

Неравновесное состояние между компонентами межэлектродной зоны, такими как «зона непосредственного взаимодействия металла деталей», «основной металл деталей» и «электроды», ранее осложняло изучение процесса контактной рельефной сварки.

Для решения данной проблемы применительно к контактной точечной сварке учеными было разработано уравнение теплового баланса межэлектродной зоны (УТБ). Предполагалось, что УТБ без ограничений можно применять и к контактной рельефной сварке для расчета величины тепловой энергии, необходимой для ввода в межэлектродную зону с целью формирования сварного соединения.

Принцип расчета УТБ состоит в оценке теплосодержания конкретных объемов металла деталей и электродов, доводимых при сварке до определенных температур при полезном нагреве и теплоотводе.

Известно, что с ростом температуры истинная теплоемкость низкоуглеродистой стали сначала нелинейно нарастает приблизительно до 1,33 Дж/г С (точка Кюри), затем нелинейно падает до 0,68 Дж/г С

(α – γ превращение), после чего нарастает до γ – α превращения и далее до перехода металла в жидкую фазу (0,73 Дж/г С).

Теплосодержание стали h при этом также постоянно изменяется. Например, при последовательном нагреве от 300 до 1000 К размерный ряд увеличения h через каждые 100 К имеет вид (в Дж/г): 49 $\rightarrow$ 55 $\rightarrow$ 59 $\rightarrow$ 64 $\rightarrow$ 70 $\rightarrow$ 80 $\rightarrow$ 96, т. е. приблизительное количество тепловой энергии, которую можно теоретически ввести в 1 г массы низкоуглеродистой стали при постоянном нагреве ее от 27 до 727 °С, составляет 473 Дж.

В УТБ ранее было сложно учесть такой характер изменения теплосодержания с ростом температуры нагрева, поэтому для упрощения расчетов было предложено использовать усредненную теплоемкость.

Также для упрощения расчетов по УТБ было принято, что при контактной точечной и рельефной сварке тонколистового металла предполагаемая зона взаимного расплавления деталей имеет форму цилиндра, ограничиваемого суммарной толщиной деталей $n\delta$ и:

а) при точечной сварке – диаметром контактной поверхности электрода $d_{\text{э}}$ (при двух одинаковых электродах);

б) при рельефной сварке – диаметром самого рельефа $d_{\text{р}}$.

Однако, если при точечной сварке полученная литая зона на макрошлифе в поперечном сечении отдаленно напоминает прямоугольник со сторонами, близкими по размерам к вышеуказанным ($n\delta$ и $d_{\text{э}}$), что соответствует представлениям о цилиндрической форме зоны взаимного расплавления деталей, то при рельефной сварке – нет.

Форма литой зоны, полученной при контактной рельефной сварке, напоминает объемный эллипсоид.

Таким образом, можно сделать вывод, что применительно к случаю контактной рельефной сварки при расчете УТБ необходимо более точно учитывать габариты предполагаемой зоны взаимного расплавления деталей (объем зоны, нагреваемой до температуры плавления).

Этого можно добиться либо применяя конечно–элементное моделирование электротермодеформационных процессов, происходящих в межэлектродной зоне при контактной рельефной сварке, либо анализируя геометрию реальных макрошлифов указанных соединений.

Нами было предложено рассмотреть геометрию макрошлифа соединения двух пластин из низкоуглеродистой стали толщиной 2 + 2 мм, полученного при сварке по одному круглому выштампованному рельефу на режимах, рекомендуемых в литературе.

Разбив осесимметричный шлиф на 4 равные части и определив достаточное количество точек на одной части, имеется возможность вывести соответствующую функцию и вращением ее вокруг координатной оси получить фигуру с объемом в половину объема литой зоны. Затем, с помощью интегральной функции, вычисляется объем всей литой зоны.