

## Расчёт и выбор режимов контактной точечной сварки соединений из разнородных материалов

Караминадик И. Демченко Е.Б.

Белорусский национальный технический университет

В практике контактной точечной сварки при решении задач получения соединений, особенно из разнородных материалов [1] необходимо учитывать некоторые особенности связанные с выбором и расчётом технологических параметров. Кроме всего прочего технологу и конструктору нужно считаться с целым рядом других обстоятельств, например, требуемой прочностью соединений, производительностью, качеством и т.д.

Накопленный теоретический материал говорит о том, что для назначения режима сварки единичной точки главным параметром является толщина свариваемых деталей  $\delta$ . По толщине деталей выбирается размер ядра, его диаметр  $d_T$  и высота  $h$ . Эти параметры служат основой для дальнейших технологических расчётов.

В многочисленной справочной литературе имеется большое количество табличных данных [2], из которых для определённых диаметров точек можно выбирать величины сварочных токов, времени сварки и давления электродов. В случае если проектируемая технология точечной сварки именно для такого металла и размеров ядра вписывается в табличные данные, то проводить расчёты токов и давлений нет необходимости. В противном случае, если речь идёт о новом или вообще другом металле или сочетании разных металлов (как в нашем случае), когда размеры явно не вписывающиеся в табличные, то такие расчёты производить необходимо.

В работе [3] показано, как с помощью критериальных методов расчёта для сегодняшней практики по хорошо отработанным режимам можно с высокой инженерной точностью вычислить режимы сварки для неизвестных металлов (группы металлов) и неизвестных размеров свариваемых деталей (группы деталей).

Первый критерий  $K$  технологического подобия

$$K = \frac{I^2 \rho h \sqrt{t} \sigma_T}{d_T T_{nl} \sqrt{\lambda \gamma c \delta P}} \quad (1)$$

пригоден для расчёта режимов точечной сварки с диаметром точки от  $d_T=(3...40)$  мм двух листов одинаковой толщины.

Второй критерий ( $I$ ) технологического подобия

$$I = \frac{i^2 \rho_T \tau_1 r_{m20} + r_{nl0}}{\gamma T_{nl} r_T} \frac{1}{2n+1}$$

применим для импульсных режимов сварки униполярными токами.

Критерии  $K$  и  $I$  достаточно полно описывают взаимосвязи всех параметров, от которых зависит режим сварки. Однако не все параметры могут быть рассчитаны. Многие из них задаются. Например, размеры ядра точек задаются по ГОСТ 15878-79. Здесь для каждой толщины свариваемых листов  $\delta$  предусмотрен минимальный размер диаметра ядра точки  $d_T$  (таблица 1).

Таблица 1

Толщина листа, мм	0,3	0,8...1,0	1,8...2,2	2,7...3,2	3,7...4,2	4,7...6,2	6,7...6,0
Диаметр ядра не менее, мм	2,6	4	7	9	12	14	16

Это соотношение хорошо описывается эмпирической формулой

$$d_T = 1,75 + 2,5\delta.$$

Если диаметр ядра точки  $d_T$  определяется стандартом, то величины сварочного тока  $I$  и силы сжатия электродов  $P$  могут лежать в довольно широких интервалах. Опыт эксплуатации точечной сварки показал, что интервалы значений силы сжатия  $P$  в зависимости от толщины

$\delta$  свариваемых листов имеют следующие соотношения (таблица 2).

Таблица 2

Материал	Ст3 и низко-легированные стали	Латуни	Mg сплавы	Al сплавы	Коррозионно-стойкие стали	Ti и сплавы
$P^*10$ , кН	$(0,2...0,3)\delta$	$(0,22...0,35)\delta$	$(0,25...0,35)\delta$	$(0,25...0,5)\delta$	$(0,3...0,5)\delta$	$(0,35...0,5)\delta$

Отношение действующего давления электродов  $p$  к пределу текучести металла  $d_{т0}$  можно определить исходя из зависимости давления от диаметра ядра точки  $d_T$  (таблица 3).

Таблица 3

Материал	Ст3	Титан	Дюралюминий	Латунь	Коррозионно-стойкая сталь
$p / d_{т0}$	0,33	0,3	0,25	0,15	0,2

Силу сварочного тока назначать и выбирать произвольно нельзя, так как для этого параметра существуют ограничения связанные с длительностью процесса сварки. Минимальный ток характеризуется наибольшей длительностью сварки - мягкие режимы токов. Такие режимы практически не приводят к образованию закалочных структур и больших размеров зон термического влияния. Это режимы, при которых обеспечиваются минимально требуемые размеры ядра сварной точки (ГОСТ 15878-79). Предельно возможный максимальный сварочный ток характерен для жёстких режимов токов. Он ограничивается не только размерами расплавленного ядра, но и опасностью выплеска перегретого жидкого металла из плоскости свариваемого контакта.

Установлено, что все возможные режимы сварочного тока описываются уравнением

$$I^2 \rho_T / d_T^2 = (14...30) \text{ [кВт/см]}.$$

Отсюда получается формула для расчёта силы сварочного тока

$$I = (120...170) d_T / \rho_T^{0,5} \text{ [A]}, \quad (2)$$

где  $\rho_T$  – удельное сопротивление ядра точки [Ом×см]. Минимальное значение границы токов переходить не рекомендуется. Максимум может быть превышен при проведении тщательной зачистки деталей перед сваркой, при большом давлении электродов и др.

Поскольку формула (2) входит в уравнение (1) критерия  $K$ , то критерий  $K$  для практически всех режимов сварки должен находиться в определённых пределах. Для всех металлов независимо от режимов токов (мягкий, жёсткий) критерий  $K$  лежит в пределах (25...50):  $K < 25$  - это недопустимо мягкие режимы,  $K > 50$  - это граница выплесков.

Исходя из принципа подобия можно сделать вывод о том, что если для каких-либо деталей отработан оптимальный режим характеризуемый определённым критерием  $K$ , то такое же значение  $K$  будет характеризовать оптимальные режимные параметры для любых других деталей отличающихся размерами и физическими свойствами.

Принимая во внимание вышеизложенную методику [3] рассчитаем процесс сварки деталей из разнородных металлов на основе «алюминий-сталь» с применением биметаллических пластин (переходники) по критерию технологического подобия  $K$ .

Для свариваемых образцов в качестве материалов использовали холоднокатаную листовую сталь марки «08 кп» толщиной 0,8 мм, технический алюминий марки А85 толщиной 1 мм и биметаллические переходники «алюминий-сталь» из тех же материалов одинаковой толщины 0,5 мм [4]. Был отработан и принят следующий режим сварки:  $I=12$  кА;  $P=1$  кН;  $t=0,24$  с. При этом режиме в зоне контакта «алюминий-биметалл» обеспечивалось:  $d_T=4$  см;  $h/\delta=(0,4...0,6)/0,5=(0,8...1,2)$ . Принимаем константы:  $\rho_T=10$  мкОм×см;  $d_{т0}=250$  МПа;  $T_{нл} \sqrt{\lambda \gamma c} = 1527 \text{ Дж/(см}^2 \times \text{град} \times \text{с}^{0,5})$  [3]. Получаем значение критерия

$$K = \frac{I^2 p h \sqrt{t} \sigma_T}{d_T T_{нл} \sqrt{\lambda \gamma c} \delta P} = \frac{144 \times 10^6 \times 10 \times 10^{-6} \times 1 \times 0,49 \times 25000}{4,25 \times 1527 \times 1 \times 100} = 27.$$

Из расчёта видно, что для выбранного режима сварки значение критерия технологического подобия удовлетворяет современным требованиям технологии.

Следует отметить, что при исследовании режима сварки в контакте «биметалл-сталь» было установлено [4], что формирование расплавленного ядра сварной точки протекает несколько позже формирования ядра в контакте «алюминий-сталь» из-за различных температур плавления материалов. Поэтому, как возможный вариант расчёта параметров режима сварки, следует рассматривать последовательный расчёт двух циклов режимов сварки: режим сварки в контакте «алюминий-биметалл» и режим - «биметалл-сталь». Для решения такой задачи необходимо провести тщательный теоретический анализ и хорошо спланированный и качественно поставленный эксперимент.

### Литература

1. Современное состояние контактной точечной сварки соединений «алюминий-сталь» / Карминадик, И. Демченко Е.Б. // Литьё и металлургия 2019 [Электронный ресурс]: сборник научных работ II Международной научно-практической интернет конференции студентов и магистрантов, 16-17 октября 2019 года / ред.: А.П. Бежок, И.А. Иванов. – Минск: БНТУ, 2019. – С. 67-69.
2. Чулошников П.Л. Точечная и роликовая электросварка легированных сталей и сплавов. - М.: Машиностроение, 1974. - 230 с.: ил.
3. Кочергин К.А. Контактная сварка. - Л: Машиностроение. Ленингр. отделение. 1987. - 240 с.: ил.
4. Демченко, Е. Б. Применение переходников при контактной сварке для получения соединений из разнородных материалов / Е.Б. Демченко // Наука – образованию, производству, экономике: материалы 13-й Международной научно-технической конференции. - Минск: БНТУ, 2015. - Т.1. - С.334.