

О ФУНКЦИОНАЛЬНОМ МЕТОДЕ ЗАДАНИЯ ТОКА ПРИ ТОЧЕЧНОЙ КОНТАКТНОЙ СВАРКЕ ТОНКИХ ПЛАСТИН

Исследованы зависимости между некоторыми параметрами процесса точечной сварки тонких пластин, установлена связь между количеством дефектов сварки и функциональной характеристикой программированного импульса тока. На основании статистических данных и металлографических исследований разработан оптимальный закон программирования тока, разработаны и внедрены в промышленность соответствующие программирующие устройства.

Краткая характеристика вопроса и обоснование метода

Для удовлетворения непрерывно возрастающих требований к качеству сварных соединений необходимо наряду с высокой статической прочностью сварной точки обеспечить также повышение ее вибропрочности, отсутствие выплесков металла при сварке и т. д. Важное место при этом занимают вопросы получения высококачественных сварных соединений из тонких деталей в различных приборах миниатюрного и сверхминиатюрного исполнения.

Для улучшения качества сварки обычно применяется программирование основных параметров сварочного режима по разомкнутому циклу. В литературе описаны также способы использования дилатометрического эффекта [3] и падения напряжения на электродах машины [6] в качестве физических датчиков, позволяющих в определенной степени управлять сварочным процессом. Воспроизведение кривых измерения избранных параметров или поддержание их постоянства с помощью сравнивающих устройств или логических схем позволяет добиться в ряде случаев повышения качества сварных точек [9]. В промышленности наибольшее распространение получил метод программирования сварочного тока промышленной частоты.

Экспериментальными и теоретическими исследованиями установлено, что процесс точечной сварки тонких пластин имеет характерные особенности вследствие уменьшения тепловой инерции сварной точки. Как показано в [7, 8], он может произойти в течение полупериода тока и поэтому не может быть достаточно полно охарактеризован интегральными энергетическими характеристиками сварочного импульса. Вследствие этого возрастает роль каждого полупериода тока в сварочном импульсе, и особую роль играет форма переднего фронта программированного импульса тока.

Программирование переменного тока по эффективному значению по различным законам в общем виде может быть охарактеризовано несколькими графиками (рис. 1). Представленные кривые можно охарактеризовать форм-фактором F , зависящим от формы переднего фронта импульса. Определим характеристику F как отношение приращений эффективных значений тока в точках $t = 0,5T \cdot n$ и $t' = 0,5t$, где t — длительность переднего фронта программированного импульса.

Для различных законов нарастания тока имеем

$$F = \frac{\Delta I_a}{\Delta I_k} = 1,0; \quad \frac{dI}{dt} = 0; \quad (a)$$

$$F = \frac{\Delta I_b}{\Delta I_k} > 0,5; \quad \frac{d^2 I}{dt^2} < 0; \quad (б)$$

$$F = \frac{\Delta I_b}{\Delta I_k} = 0,5; \quad \frac{d^2 I}{dt^2} = 0; \quad (в)$$

$$F = \frac{\Delta I_r}{\Delta I_k} < 0,5; \quad \frac{d^2 I}{dt^2} > 0. \quad (г)$$

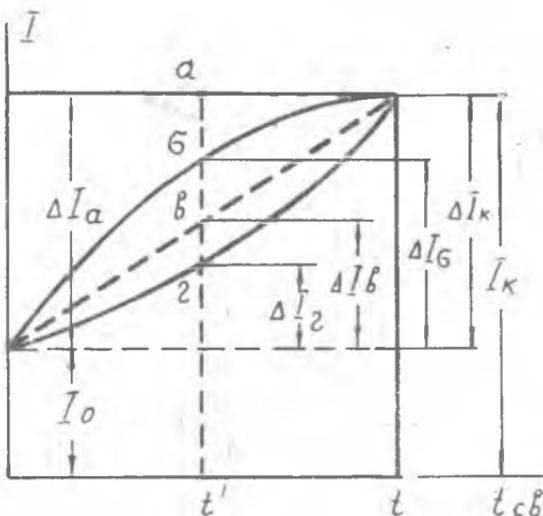


Рис. 1. Обобщенные графики, характеризующие передний фронт импульсов при программировании тока по различным законам. I — эффективное значение тока.

Для импульсов с длительностью $t \leq 0,5T$ характеристика $F = 1,0$.

Длительность импульса t может быть задана различной в зависимости от размеров деталей и свойств свариваемых материалов, но, как следует из графиков, вид кривых при этом принципиально не изменяется.

Автором исследованы зависимости между различными параметрами сварочного процесса при программировании приблизительно синусоидального тока по амплитуде по различным законам с помощью специально разработанного устройства. На рис. 2 приведены некоторые результаты экспериментальных исследований. Анализ представленных данных показывает, что изменение

температуры сварной точки, определяемое по падению напряжения V_T на электрическом контакте [4, 5, 6], зависит от характеристики F программированного импульса тока. При использовании импульса с характеристикой $d^2I/dt^2 > 0$ ($F < 0,5$) кривая $V_T(t)$ более оптимальна, так как напряжение V_T увеличивается по мере прохождения полупериодов тока, обеспечивая постепенное увеличение температуры в сварной точке.

Применение этого способа оценки хода сварочного процесса исключается для первого полупериода, поскольку большое кон-

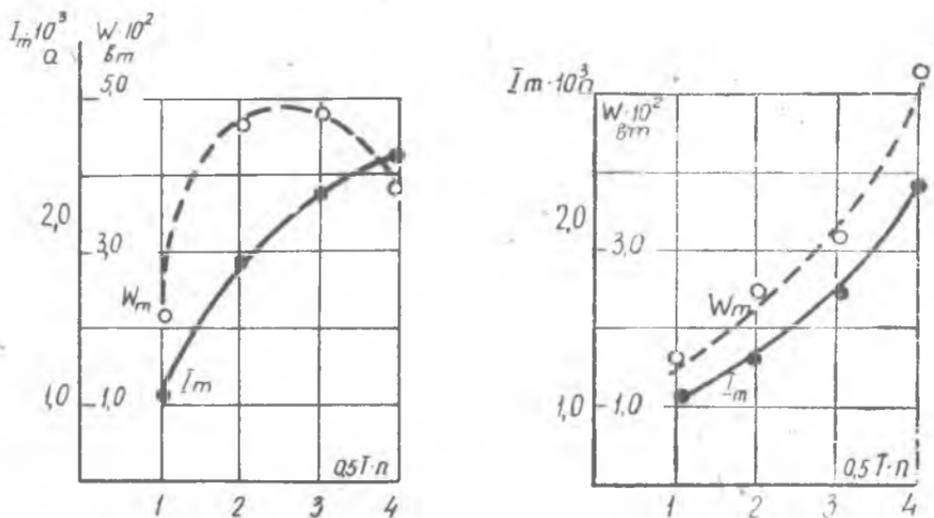


Рис. 2. Графики зависимостей параметров сварочного процесса. Железо «армко», 0,1+0,1 мм.

тактное сопротивление в начале процесса способствует увеличению напряжения V_T даже при малом токе. Сопоставление кривых напряжения $V_T(t)$ и мощности $W_T(t)$, выделяющейся в деталях, показывает, что мощность является более общим энергетическим параметром и может характеризовать ход процесса в течение всего импульса. Соответствие между кривыми тока и мощности позволяет регулировать мощность изменением времени сварки.

При программировании тока по закону $d^2I/dt^2 < 0$ ($F > 0,5$) между кривыми тока и мощности корреляция не наблюдается. Наибольшее значение кривой $W_T(t)$ смещается к началу сварочного импульса. Регулирование мощности изменением времени сварки в этом случае становится невозможным, так как при увеличении тока мощность не возрастает, а уменьшается.

Таким образом, при фиксированной длительности сварочного импульса задание функциональной его характеристики $d^2I/dt^2 > 0$ ($F < 0,5$) обеспечивает наименьшую интенсивность сварочного

процесса, и, как следствие, минимальную вероятность образования выплесков металла (см. табл.).

Металлографическими исследованиями установлено, что при соответствующем подборе функциональной характеристики импульса может быть получена желательная макроструктура ядра сварной точки. На рис. 3 представлены образцы макроструктуры

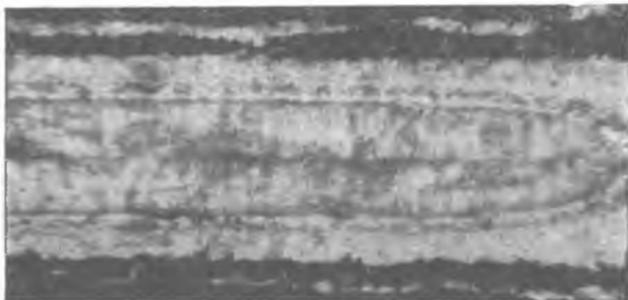


Рис. 3. Фотографии макроструктуры сварных точек, полученных при использовании импульсов тока с различными функциональными характеристиками; железо «армко», 0,1+0,1 мм, увеличено

сварных точек, полученных при использовании импульсов с характеристикой $d^2I/dt^2 > 0$ ($F < 0,5$) и комбинированных импульсов.

Аналогичные зависимости между параметрами процесса установлены при использовании импульсов тока, запрограммированных по фазе зажигания ионных приборов [2].

Разработка программирующих устройств

Один из способов генерирования импульсов тока с характеристикой $d^2I/dt^2 > 0$ заключается в использовании в катодно-сеточной

цепи исполнительных электровакуумных приборов комбинации экспоненциальной и пикообразной составляющих напряжения. Можно показать, что при использовании трансформатора с насыщенным сердечником форма сварочного импульса удовлетворяет предъявленным требованиям.

Анализ процессов в эквивалентной схеме входной цепи исполнительного прибора прерывателя (рис. 4) приводит к соотношению

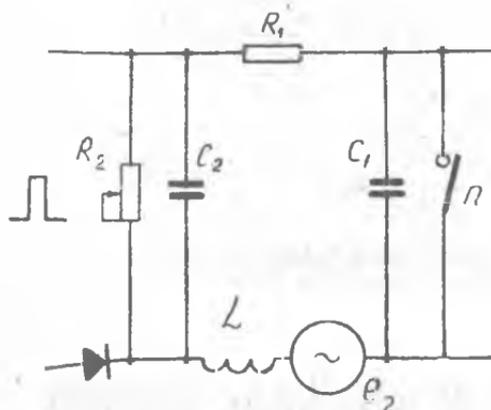


Рис. 4. Эквивалентная схема входной цепи исполнительного прибора прерывателя тока

$$U_c(t) = - \sum_{k=0}^{\infty} \frac{E_{m2k+1} X_{c2k+1}}{Z_{2k+1}} \times \sin [(2k+1)\omega t + \tau_{2k+1}], \quad (2)$$

где

$$E_{m2k+1} = \frac{4\Phi_{3m}N_s \omega}{\pi\alpha} \sin \frac{(2k+1)\alpha}{2k+1}, \quad (3)$$

$$\tau_{2k+1} = \arctg \frac{X_{c2k+1}}{R}; \quad (4)$$

$$Z_{2k+1} = \sqrt{R^2 + (X_{L2k+1} - X_{c2k+1})^2}; \quad (5)$$

N_3 — количество витков в выходной обмотке пик-трансформатора;

α — угол, соответствующий полуширине пика на уровне $\frac{U_m}{2}$;

Φ_{3m} — поток во вторичном сердечнике ярма;

k — номер гармоники;

R, X_L, X_c — составляющие сопротивления цепи, причем $X_L \ll$.

Условие отпирания прибора

$$|u'_c(t)| \geq |u'_{cm}| - |u'_3| \quad (6)$$

где $u'_{cm} = -U_0 e^{-\frac{t}{\tau}} / U_0$; $u'_3 = +U_{зажиг} / U_0$; $\tau = R_2 C_2$.

На рис. 5 представлены графики напряжения, полученные при решении уравнения (6) графическим способом с учетом напряжения $\Delta V'_{c2}$, выделяющегося на конденсаторе C_2 после отпирания исполнительного прибора.

$$\Delta U'_{c2} = - (u'_{эКВ} + u'_{cm}) \frac{R_2}{R'_1 + R_2} \left(1 - e^{-\frac{\Delta t'}{\tau'}} \right) \quad (7),$$

где $\tau' = \frac{R'_1 R_2}{R'_1 + R_2} \cdot C_2$; $u'_{эКВ} = \frac{U_{эКВ}}{U_0}$;

$\Delta t'$ — длительность эквивалентного по площади импульса прямоугольной формы.

Сравнительные сведения о качестве сварных соединений

Тип сварочного оборудования	К-во исследованных точек, шт.	Количество выплесков, %	Примечание
МСС ИО20.003	10.000	100,0	Питание монтажно-сварочного стола МСС ИО20.003 — от группового прерывателя ИО20.004; время сварки $t = 0,02$ сек; $F = 1,0$
МСС ИО20.014	10.000	~ 80,0	Прерыватель автономный; $t = 0,10$ сек, $F > 0,5$; программирование тока — по фазе.
МСС ИО20.003	15.000	6,0	Прерыватель автономной, тип П-3, $t = 0,06$ сек, $F < 0,5$; программирование тока — по амплитуде.
МСС ИО20.003	15.000	5,0	Питание МСС — от группового прерывателя Е-П-А; $t = 0,10$ сек; $(F < 0,5) + (F = 1,0)$ программирование тока — по фазе.

Определение величины напряжения в сварочном импульсе на выходе прерывателя произведено с учетом падения напряжения на горящем игнитроне.

Рассмотренный метод программирования тока применен в сварочных прерывателях нескольких типов для группового и автономного питания контактных сварочных машин. Внедрение разработанных устройств в промышленность позволило в 12-20 раз и более сократить количество дефектов сварки в процессе из-

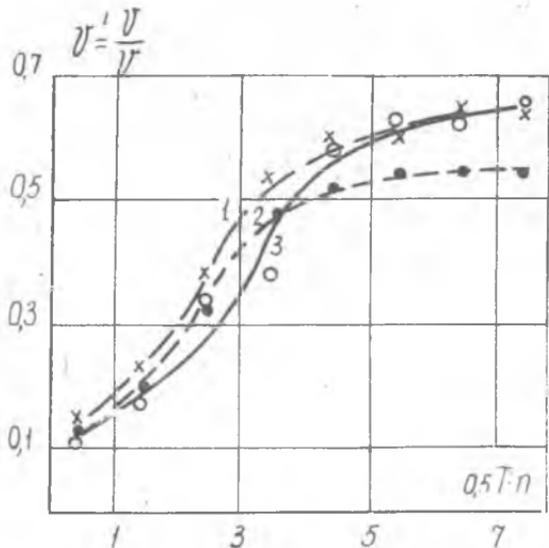


Рис. 5. Графики программированного напряжения на выходе прерывателя:

1 — напряжение сети $U_{ном}$ (расчет); 2 — напряжение сети $0,85 U_{ном}$ (расчет); 3 — напряжение сети $U_{ном}$ (эксперимент).

готовления приборов (см. таблицу). Дискретное программирование тока по фазе зажигания исполнительных приборов с помощью декатрона, осуществленное в одной из модификаций групповых прерывателей (прерыватель типа Е-III) позволяет добиться аналогичных результатов.

Применение релейных устройств с амплитудным программированием и использованием полных полупериодов тока является весьма целесообразным при проведении исследовательских работ или выполнении особо трудных сварочных операций. Программирование по различным законам тока приблизительно синусоидальной формы значительно упрощает анализ параметров сварочного процесса и разработку оптимальных сварочных режимов (см. таблицу).

Применение разработанных устройств в массовом производстве приборов позволяет получить значительную экономию средств [1].

ВЫВОДЫ

1. Между электрическими параметрами процесса точечной контактной сварки тонких пластин в общем случае не установлено соответствия. Мощность, выделяющаяся в свариваемых пластинах, может уменьшаться при увеличении тока.

2. Соответствующим выбором функциональной характеристики импульса сварочного тока можно добиться корреляции между кривыми тока и мощности. При использовании импульсов сварочного тока с характеристикой $d^2I/dt^2 > 0$ обеспечивается постепенное увеличение мощности в течение всего импульса тока. При этом интенсивность сварочного процесса и вероятность образования выплеска металла минимальны.

3. Установлена связь между макроструктурой ядра точки и изменением мощности W_T в течение импульса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Е. И. Комаров, А. Б. Клеменц. Монтажно-сварочное оборудование для безвыплесковой сварки малогабаритных деталей. «Вестник Саратовского СХН», № 4. 1961.

2. Комаров Е. И. Некоторые особенности в дозировании сварочной энергии при точечной сварке малогабаритных деталей. Труды СИМСХ им. М. И. Калинина (г. Саратов), вып. 27., 1961.

3. Ю. А. Паченцев. Автоматическое управление процессом точечной сварки по величине теплового расширения металла. Кандидатская диссертация, 1954.

4. И. Я. Рабинович. Основы теории контакта и теплопередачи при стыковой сварке сопротивлением. ГНТИ машиностроительной литературы, 1939.

5. Р. Хольм., Электрические контакты, М., ИЛ, 1961.

6. Archer G. R., A New System for Automatic Feedback Control of Resistance Spot Welding. «Welding Journal», N 10, 1959.
 7. Archer G- R., Successful Welding of Foil Gages «Welding Journal», N 4, 1960.
 8. Archer G. R., Calculations for Temperature Response in Spot Welds. «Welding Journal», N 8, 1960.
 9. Archer G. R., Feedback and NOR Logis Yield Sound Spot Welds. «Electronics», vol. 33, N 8, 1960.
-