

Теоретический расчет и фактическое определение погонной энергии при импульсной дуговой сварке

Студент гр.10403122 Пугацевич М.В.

Научный руководитель – Бендик Т.И.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

На определении погонной энергии основано большинство методик регулирования термомодеформационного цикла сварки с целью выбора оптимальной скорости охлаждения, температуры предварительного подогрева, расчета размеров участков зоны термического влияния, а также прогнозирования напряжений и деформации при сварке.

Международный стандарт на квалификацию технологических процессов дуговой сварки ISO 15614-1:2017 раздел 8.4.7 [1] предусматривает документирование значений тепловложения (энергии дуги), которые должны быть рассчитаны в соответствии со стандартом ISO/TR 18491 [2].

В простейшем случае (при сварке на постоянном токе) для расчета эффективной погонной энергии $q_{\text{п}}$ (Дж/мм) используется зависимость [3]:

$$q_{\text{п}} = \frac{q}{V_{\text{СВ}}} \quad (1)$$

где q – эффективная тепловая мощность дуги, Вт (Дж/с);

$V_{\text{СВ}}$ – скорость сварки (скорость перемещения сварочной ванны), мм/с.

Эффективная тепловая мощность дуги представляет собой количество теплоты, введенное за единицу времени в основной металл, и затраченное на его нагрев:

$$q = U_{\text{д}} \cdot I_{\text{СВ}} \cdot \eta_{\text{эфф}} \quad (2)$$

где $U_{\text{д}}$ – напряжение на дуге, В;

$I_{\text{СВ}}$ – сила сварочного тока, проходящего по электроду, А;

$\eta_{\text{эфф}}$ – эффективный к.п.д. процесса нагрева изделия дугой, представляющий отношение количества теплоты, введенного дугой в основной металл, к тепловому эквиваленту электрической мощности дуги. Значения эффективного к.п.д. нагрева для различных способов сварки приводятся в ISO/TR 17671-1 [4]: для 121 процесса сварки $\eta_{\text{эфф}} = 1$; для 111, 135, 131, 136, 137 - $\eta_{\text{эфф}} = 0,8$; для 141, 15 - $\eta_{\text{эфф}} = 0,6$.

Электрическую мощность дуги, равную произведению $U_{\text{д}} \cdot I_{\text{СВ}}$ нужно определять с максимальной точностью. При определении падения напряжения на дуге измерение проводят максимально близко к дуге. Значения напряжения, отображаемые на вольтметре сварочного источника питания, всегда выше напряжения дуги из-за сопротивления токоподводящих кабелей (это вносит погрешность в расчет мощности дуги).

Сварочный ток измеряют с помощью измерителя индуктивности (измерительные клещи). Если при сварке происходят колебания длины дуги или изменяется сопротивление электрода по мере его плавления, то это приводит к колебаниям тока и напряжения. В этом случае для расчета по формуле (1) используют средние измеренные значения тока $I_{\text{м}}$ и напряжения $U_{\text{м}}$.

Согласно требованиям ISO/TR 18491 для 111, 141 процессов сварки измерения сварочного тока и напряжения можно проводить на клеммах источника питания, для сварки в защитных газах 131, 135 – на контактах устройства подачи проволоки, для сварки под флюсом – на сварочной горелке.

Скорость сварки при ручном и механизированном процессах находят как частное от деления длины прохода L на время горения дуги t_{CB} . Длина прохода измеряется линейкой от начала валика шва до центра кратера в конце шва (при 111 процессе сварки длина прохода равна длине шва, наплавляемой одним покрытым электродом). Рекомендуемое время непрерывного прохода при сварки составляет более 30 секунд. При автоматической сварке скорость сварки устанавливается на ходовой каретке, управляемой двигателем.

Формула (2) применима, если сварочный ток и напряжение незначительно колеблются относительно своих постоянных значений в процессе сварки. Но для многих режимов современных источников питания сварочной дуги традиционная формула (2) дает большую погрешность. Например, при использовании импульсной дуги MMA Pulse, р-GTAW или р-GMAW (рисунок 1) ток пульсирует с заданной частотой от минимального значения (базовый ток I_B) до максимального значения (импульсный ток I_I). Среднее значение между I_B и I_I дает приблизительное значение I_m для оценки мощности дуги:

$$I_m = \frac{I_B \cdot t_B + I_I \cdot t_I}{t_B + t_I} = \frac{I_B \cdot t_B + I_I \cdot t_I}{f} \quad (3)$$

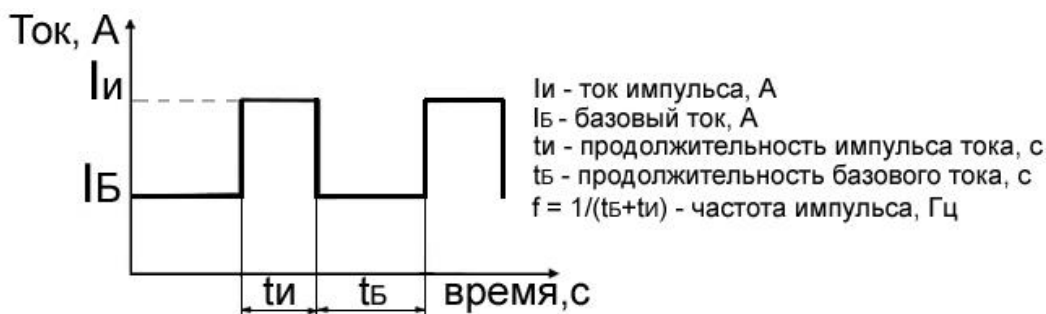


Рисунок 1 - Схема изменения сварочного тока при импульсной сварке

Для научных экспериментов по определению скорости охлаждения и тепловложению или в случае использования источников питания со сложными формами изменения тока (например, Lincoln STT, Fronius CMT, ESAB Superpulse, Kemppi WISEROOT и т.д.) обычно требуется более точный метод, основанный на мониторинге мгновенных значений напряжения $u(t)$ и тока $i(t)$ на протяжении всего цикла $t_{ц}$:

$$I_{CB} = \int_0^{t_{ц}} i(t) dt, \quad U_{CB} = \int_0^{t_{ц}} u(t) dt. \quad (4)$$

Если сварочное оборудование не осуществляет регистрацию мгновенной энергии или мощности, то внешнее оборудование может использоваться для измерения мгновенной энергии или мощности. Регистрация значений параметров режима сварки в виде осциллограмм силы сварочного тока и напряжения на дуге может осуществляться с помощью регистратора сварочных процессов посредством передачи данных с датчиков тока и напряжения на персональный компьютер.

В случае применения сварочного тока или напряжения сложной формы (изменяющихся во времени для контроля переноса электродного металла, глубины проплавления, формы шва) применяются два метода расчета согласно ISO/TR 18491. Первый метод основан на измерении мгновенной энергии при сварке и длины прохода:

$$q_{\Pi} = \frac{IE}{L} \quad (5)$$

где IE – мгновенная энергия при сварке, кДж;

L – длина прохода, мм.

Мгновенная энергия при сварке определяется суммированием произведения измерений тока и напряжения, выполненных с малыми временными интервалами, которые фиксируют изменения формы сварочного тока.

Второй метод основан на измерении мгновенной мощности при сварке и скорости сварки:

$$q_{\Pi} = \frac{IP}{V_{CB}} \quad (6)$$

где IP – мгновенная мощность при сварке, кДж/с;

V_{CB} – скорость сварки, мм/с.

Мгновенная мощность при сварке определяется путем усреднения произведения измерений тока и напряжения, выполненных во времени с малыми интервалами, которые фиксируют изменения формы данных сигналов.

Для измерения мгновенной мощности или мгновенной энергии можно использовать сварочный источник питания или внешний ваттметр, способный вычислять и отображать энергию или мощность. Частота измерений должна быть достаточной для фиксации изменений формы сварочного тока (используется частота дискретизации, по крайней мере в 10 раз превышающая частоту изменения формы тока).

Список использованных источников

1. Specification and qualification of welding procedures for metallic materials — Welding procedure test — Part 1: Arc and gas welding of steels and arc welding of nickel and nickel alloys: ISO 15614-1. Введ. 01.06.2017. – 46 с.
2. Welding and allied processes - Guidelines for measurement of welding energies: ISO/TR 18491. Введ. . 01.05.2015. – 16 с.
3. Теория сварочных процессов : учебное пособие / В. М. Неровный, А. В. Коновалов, Б. Ф. Якушин [и др.] ; под редакцией В. М. Неровного. — 2-е изд. — Москва : МГТУ им. Баумана, 2016. — 702 с. — ISBN 978-5-7038-4543-1. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/106410> (дата обращения: 05.03.2024). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
4. Welding — Recommendations for welding of metallic materials — Part 1: General guidance for arc welding: ISO/TR 17671-1:2002(E) Введ. 01.02.2002. – 18 с.