

вычислено значение сварочного тока. Это позволило дать приближенный расчет значений основных параметров при высокочастотной сварке алюминиевых лент (Al) с индукционным нагревом на частоте $f = 350 \text{ кГц}$, при $l = 84 \text{ мм}$, $\delta = 0,9 \text{ мм}$.

Таким образом, разработанная авторами методика и способ определения силы тока в очаге высокочастотнойстыковой сварки при индукционном нагреве позволяют рассчитывать электрический режим такой сварки, а потому должны найти широкое применение в инженерной практике. Анализ характера действия магнитного давления в очаге сварки помог авторам сформулировать принцип нового магнитодинамического способа автоматического регулирования скорости оплавления и защитить его авторским свидетельством.

Л. А. Дударь, В. М. Воронов, И. С. Гришин

КИНЕТИКА ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВА ПРИ АРМИРОВАНИИ РАБОЧИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ШТАМПОВ ТВЕРДЫМ СПЛАВОМ С ПОМОЩЬЮ ДИФФУЗИОННОЙ СВАРКИ В ВАКУУМЕ

В связи с тем, что свариваемые материалы (Ст. 45 и ВК-15) отличаются большой разностью коэффициентов линейного расширения (соответственно $11,65 \cdot 10^{-6}$ и $5,3 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^{\circ}\text{C}$), лежащей в области критических величин ($6 \div 10 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^{\circ}\text{C}$), при нагреве их до температуры сварки (ок. 1100°C), в твердом и хрупком металлическом сплаве могут возникать опасные растягивающие напряжения, часто приводящие к появлению микро- и макротрещин. Еще более опасно последующее охлаждение образовавшегося сварного соединения, когда на внешней поверхности стыка в твердом сплаве создаются напряжения сжатия, в то время как на другом его конце на внешней поверхности возникают опасные растягивающие напряжения. Такой характер напряжений часто приводит к разрушению твердого сплава, даже при наличии в стыке релаксирующих пластичных прокладок.

Задачей данной экспериментальной работы явилось выявление оптимальных условий индукционного нагрева и охлаждения свариваемых деталей и разработка конструкции индукторов, используемых в условиях диффузионной сварки в вакууме для деталей заданного сочетания круглого, кольцевого и прямоугольного сечений.

Работа закончена внедрением в производство изготовленных в лаборатории сварки КуАИ семи различных сварных элементов трех сложных штампов, выдержавших производственные испытания в течение года.

Индукционный нагрев стали является поверхностным, так как глубина проникновения тока в сталь определяется выражением

$$\Delta = \sqrt{\frac{2\rho}{\omega\mu_0\mu}}, \quad (1)$$

где $\omega = 2\pi f$ — круговая частота;

f — частота используемого тока;

μ_0 — магнитная проницаемость вакуума;

μ — относительная магнитная проницаемость нагреваемого материала;

ρ — удельное его сопротивление.

Неравномерность нагрева ΔT в сечении свариваемых деталей также является одной из причин появления термических напряжений.

$$\Delta T = T_1 - T_2,$$

где T_1 и T_2 — соответственно температуры на периферии и в центре поверхностистыка.

Во время подъема температуры такой перепад легко устраняется за счет выравнивающей теплопередачи в глубь изделия при малой плотности подводимой энергии или введения в деталь тепловой энергии кратковременными импульсами.

Во время поддержания высокой сварочной температуры (время сварки 10 мин), из-за заметного снижения интенсивности введения тепловой энергии в деталь, особенно компактного развитого сечения, наблюдаются трудно устраниемые отрицательные перепады температур когда $T_2 > T_1$.

Это связано с тем, что радиационные потери тепла с поверхности сильно нагретой детали (выше 600°C) становятся велики, так как $Q = f \left(\frac{T}{100} \right)$, поэтому они существенно сказываются на распределении температуры в сечении детали.

В таком случае использование токов радиочастот при малых Δ особенно благоприятно в интервале температур 600—1100°C, то есть температур, приходящихся, как показал опыт, на наибольшую часть времени нагрева деталей под сварку. Использование же машинных высокочастотных генераторов (2,5—8 кГц), несмотря на высокий термический к. п. д. индукционных нагревателей, работающих с ними, становится при этом нецелесообразным.

Опытами установлено, что рекомендованную Н. Ф. Казаковым («Диффузионная сварка в вакууме», М., 1968) скорость подъема температуры — 20°C/сек нельзя считать окончательно принятой. Для развитых сечений она должна быть существенно снижена. Ее следует устанавливать, контролируя величину ΔT , которая не должна превышать 100°C, в противном случае может наступить угроза брака при сварке.