

Жиенкулов С.А., Каржаубаев А.С.

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК НАПЛАВОЧНОГО ПРОЦЕССА ВЛИЯЮЩИХ НА СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ

S.A. Zhienkulov, A.S. Karzhaubaev

METHODS OF DETERMINING THE BASIC CHARACTERISTICS OF FILLER INFLUENCE ON STRUCTURE FORMATION PROCESS

УДК 621. 791.92: 621. 824. 32

Обобщены сведения по распределению теплоты и определения основных параметров наплавки, влияющих на структурообразование наплавленного металла. Получено выражение для расчета глубины проплавления основного металла и высоты наплавленного слоя.

The items of information on distribution of heat in an electrical arch for different technological processes fusing are generalized. An expression for calculating the depth of penetration of the base metal and the height of the deposited layer.

При широкослойной наплавке производительность плавления электродного металла включает в себя не только процесс плавления проволоки, но и плавление порошка подаваемого в дуги.

Нагрев и плавление электрода при дуговых наплавках осуществляется за счет:

- энергии, выделяемой дугой в приэлектродной области;
- энергии, выделяемой при нагреве вылета электрода током, проходящим по нему.

Для определения средней производительности плавления электрода принимаем ряд допущений:

- скорость плавления присадочного материала считаем постоянной в течении всего времени его плавления;
- нагрев электрода током, проходящим по нему, принимаем постоянным по его длине. Нагрев поверхности происходит в результате тепла, выделяемого источником нагрева в зоне, взаимодействующей с поверхностью детали, и характеризуется соответствующими к.п.д.:

$$q_{из} = \eta_u \eta_{изд} q_{эфф} \quad (1)$$

Для схематизации наплавочного источника теплоты наиболее подходящей является схема непрерывно-действующего, движущегося с постоянной скоростью точечного источника теплоты, действующего на поверхности полубесконечного тела (рисунок 1).

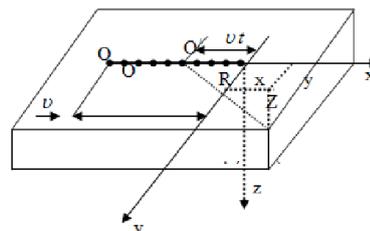


Рис. 1. Схема действия точечного источника теплоты на поверхности полубесконечного тела.

Согласно работам [1,2], распределение температуры от действия точечного источника теплоты в период установившегося движения, описывается следующим образом:

$$T = \frac{q_{изд}}{2\pi\lambda R} \exp\left(-\frac{v}{2a}(R+x)\right), \quad (2)$$

где T – тепловая мощность источника теплоты на поверхности детали, Вт; λ – коэффициент теплопроводности, Вт/(см С); a – коэффициент температуропроводности, см²/с; v – скорость движения источника теплоты, см/с; R – радиус-вектор, расстояние от источника до точки в которой определяется температура, см:

$$R = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}, \quad (3)$$

где x, y, z – координаты точки в подвижной системе координат источника, см.

При использовании предложенного метода расчета, были приняты ряд допущений:

- источники теплоты сосредоточены в точку;
- форма тела схематизируется;
- теплофизические коэффициенты приняты не зависящими от температуры в исследуемом интервале температур.

Предложенная выше формула рассматривает процесс распространения теплоты в полубесконечном теле. Несмотря на то, что наплавленные изделия имеют ограниченные размеры, в большинстве случаев, влияние границ тела на температурное поле внутри детали проявляется мало. Однако, для изделий небольших размеров, такое упрощение формы изделия может приводить к существенным погрешностям.

Для учета теплоты, отраженной от боковой поверхности детали в первом приближении будем считать ее адиабатической. Тогда, для учета отра-

женного теплового потока, вводим фиктивный источник теплоты, действующий в точке O' (рисунок 2)

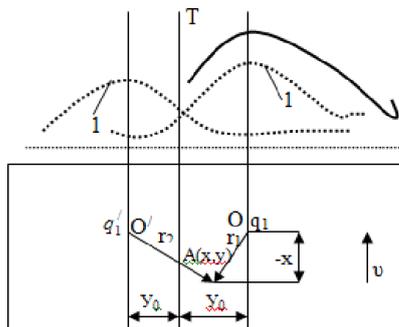


Рис. 2. Схема движения фиктивного источника теплоты для учета отраженного тепла от боковой поверхности детали.

Мощность и скорость перемещения этого источника теплоты и скорость перемещения этого источника теплоты совпадает с истинным источником теплоты, а плоскость, по которой он перемещается, расположена симметрично боковой поверхности детали. Температурное поле внутри детали представляет собой сумму изотерм от истинного и фиктивного источников теплоты:

$$T_A = T_0 + T_{O'} \quad (4)$$

Аналогичным образом учитывается влияние нижней границы на распределение температуры внутри детали.

Полученная в результате распределения, несмотря на учет отраженного тепла, температура, не соответствует реальным значениям, так как не учитывает теплообмен с окружающей средой. В реальных условиях тепловой поток от истинного источника теплоты, достигая границ тела, часть мощности отдает в виде конвективного теплообмена с воздушной средой. Удельная мощность источника теплоотдачи зависит от температуры на нижней поверхности детали и определяется следующим образом:

$$Q_{отд} = \alpha (T_1 - T_c), \quad (5)$$

где α – коэффициент теплоотдачи, Вт/(см²·с); T_1, T_c – температуры нижней поверхности детали и окружающей среды, соответственно, °С.

Зависимость коэффициента полной теплоотдачи от температуры для стали представлена в таблице 1.

Таблица 1

Значения коэффициентов полной теплоотдачи стали для разных температур

T, С	200	400	600	800	1000
$\alpha \cdot 10^{-3}$, Вт/см ²	2,0	4,0	6,0	9,0	14,0

Для учета влияния теплоотдачи на температуру внутри детали вводим на боковой поверхности детали фиктивный источник теплоты, действующий в точке O'' . Этот источник теплоты, представляет

собой электрическую печь и за счет понижения напряжения понижает температуру внутри тела. Таким образом, температурное поле в наплавляемом изделии можно определить как совместное действие истинного источника теплоты, фиктивного источника, симметричного истинному, действующего на рассматриваемой поверхности детали.

$$T_A = T_0 + T_{O'} - T_{O''} \quad (6)$$

Возможность расчета распределения температур в любой точке детали, позволяет провести анализ температурно-временных условий, формируемых источником нагрева в объеме детали, и оценить геометрические характеристики различных зон наплавленного слоя. Наиболее важной для определения параметров наплавленного слоя является зона проплавления, геометрические размеры которой определяются положением изотермы с температурой, равной температуре плавления.

$$h = z \text{ при } T_{\max} = T_{\text{пл}}$$

где h – глубина проплавления наплавленного слоя, мм.

Для определения глубины проплавления преобразуем выражения для расчета изменения температуры от действия точечного источника теплоты. Для этого произведем разложение экспоненциального члена выражения (2) в ряд:

$$\exp\left(-\frac{v}{2a}(R+x)\right) = 1 + \frac{\left(-\frac{v}{2a}(R+x)\right)}{1} + \frac{\left(-\frac{v}{2a}(R+x)\right)^2}{2} + \dots \quad (7)$$

Для расчета можно использовать только первые два члена, остальные члены дают поправку в пятом знаке после запятой.

Используя предложенную замену, выразим из выражения (2) координату z .

$$z = \sqrt{\left(\frac{q_{изд} + \frac{q_{изд} v^2 t}{2a}}{T 2\pi\lambda + \frac{q_{изд} v}{2a}}\right)^2 - (vt)^2} \quad (8)$$

Для анализа условий протекания структурно-фазовых превращений большое значение имеет определение средней скорости охлаждения в требуемом интервале температур от T_1 и T_2 .

$$w = \frac{T_1 - T_2}{t_2 - t_1}, \quad (9)$$

где t_1, t_2 – время охлаждения до температуры T_1 и T_2 , соответственно.

На электроде выделяется только часть полной мощности дуги ($g_{эл}$). Определить эту мощность, можно используя коэффициент распределения тепловой мощности в приэлектродной области, примыкающей к торцу электрода:

$$(g_{эл}) = \eta_{эл} \eta_m Q_{эфф} \quad (10)$$

Учитывая количество теплоты, выделяемое на электроде, производительность его плавления можно

определить через энтальпию капли расплавленного металла, формирующуюся на его торце [2].

$$q_0 = \frac{g_{эл} + g_T}{c(T_k - T_c)}, \quad (11)$$

где q_0 - производительность плавления электрода, г/с; c - удельная теплоемкость, Дж/(г · К); T_k , T_c - температура капли и окружающей среды, соответственно, К и С.

Кроме того, по всей длине электрод нагревается проходящим по нему током. Количество теплоты, выделяемое при этом, определяется согласно [1-2] следующим образом:

$$g_T = I^2 p t \quad (12)$$

где p - удельное электросопротивление, Ом ; t - время прохождения тока, с.

Мощность этого источника нагрева зависит от времени протекания тока по электроду, а, следовательно, от скорости его плавления. Выражая скорость плавления электрода через найденную выше его производительность от основного источника теплоты, получаем следующее выражение для определения времени прохождения тока:

$$t = \frac{V y}{q_0} \quad (13)$$

где V - объем вылета электрода, мм³; y - плотность металла, г/мм³.

При широкослойной наплавке производительность плавления присадочной проволоки включает в себя не только процесс ее плавления, но и плавление порошка, подаваемого в дуги (рисунок 3).

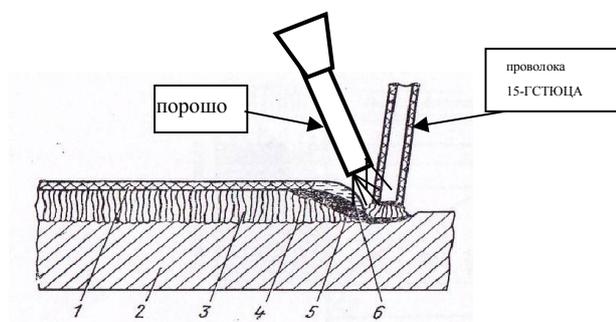


Рис. 3. Схема кристаллизации:

- 1-шлаковая корка; 2-основной металл; 3-наплавленный металл; 4-линия расплавления основного металла; 5-жидкий металл; 6-жидкий шлак.

Основной характеристикой при реализации порошкового метода наплавки является температура нагрева частиц порошка.

Величина q_0 представляет производительность плавления электрода без учета потерь на плавление покрытия или сердечника. Если принять, что единственным эффектом от наличия покрытия на электроде является уменьшение энергии, расходуемой на плавление стержня, то производитель-

ность его плавления определяется следующим образом [2]:

$$q_{\phi} = q_0 \frac{1}{1 + \frac{kQ}{cT_k}}, \quad (14)$$

где q_{ϕ} - фактическая производительность плавления электрода, г/с; k - отношение веса покрытия к весу стержня; Q - количество теплоты, расходуемое на плавление покрытия, Дж/г.

Определение производительности плавления электрода рассматривалось с учетом энергии, выделяемой источником нагрева в приэлектродной области, соприкасающейся с присадочным материалом и энергии, выделяемой при нагреве вылета электрода проходящим по нему током. При этом предложено определять высоту наплавленного слоя как отношение весовой производительности плавления электрода к производительности наплавки по площади:

$$S = 81,66 \frac{q_{\phi}}{q_F}, \quad (15)$$

где q_F - производительность наплавки по площади, мм²/с;

На базе зависимостей для определения температуры нагрева от точечного источника теплоты получено выражение для расчета глубины проплавления основного металла (h):

$$h = \sqrt{\left[\frac{q_{изд} + \frac{q_{изд} v^2 t}{2a}}{T 2\pi\lambda + \frac{q_{изд} v}{2a}} \right]^2 - (vt)^2}, \quad (16)$$

где $q_{изд}$ - тепловая мощность источника теплоты на поверхности детали, Вт; λ - коэффициент теплопроводности, Вт/(см · °С); a - коэффициент температуропроводности, см²/с; v - скорость движения источника теплоты, см/с; t - время охлаждения, с; T - температура плавления охлаждения основного металла, °С.

В зависимости от производительности подачи порошка и количества теплоты, идущей на плавление присадочного материала, максимальная температура нагрева частиц порошка может меняться в широких пределах. Для обеспечения удовлетворительного уровня качества наплавленного слоя, порошок должен попадать в наплавочную ванну в расплавленном состоянии. В то же время, нагрев выше 2500°С приводит к активному выгоранию легирующих элементов в связи с чем оно не желательно.

Выводы.

Исследования показали, что оптимальный диапазон температур нагрева частиц порошка находится в пределах от 1700 °С до 2500 °С и на базе зависимости для определения температуры

нагрева от точечного источника теплоты, получено выражение для расчета глубины проплавления основного металла и высоты наплавленного слоя.

Литература:

1. Алексеев Г.И. Теория сварочных процессов. М., Машгиз, 1980, -230 с.

2. Петров Г.Л., Тумарев А.С. Теория сварочных процессов. М., Высшая школа, 1997, -190 с.

3. Каржаубаев А.С. Методика расчета высоты наплавленного слоя с учетом температурно-временных условий на поверхности детали // Алматы, Вестник КазАТК, 2010, №3, с.

Рецензент: д.т.н., профессор Поветкин В.В.
