

дочной проволоки по формуле (5) близки к экспериментальным, полученным в процессе электродуговой наплавки с использованием стальной проволоки СВОБГА диаметром 2,5 мм. В том случае, когда в расплавленный металл будет вводиться волноводная присадочная проволока с температурой плавления большей, чем температура расплава, для реализации принципа ультразвукового легирования, получения биметаллических систем и композиционных материалов, необходимо каким-либо способом дополнительно вводить нужное количество тепла в проволоку.

Поэтому к подводимому тепловому потоку, от расплавленного металла к торцу волноводной проволоки нужно прибавить тепловой поток в проволоку, находящуюся над поверхностью расплавленного металла. В этом случае в расчетных уравнениях для скорости подачи волноводной присадочной проволоки в числителе прибавится дополнительный источник теплового потока.

Полученные аналитические выражения для вычисления скорости подачи расходуемого присадочного волновода могут явиться базовыми для расчета технологических процессов получения новых материалов: ультразвукового легирования, получения биметаллических систем и композиционных материалов с помощью расходуемого присадочного волновода.

УДК 621.791.927.5.03+66.084

Шляев А.С.
Ивинский В.И.
Стукин С.А.

УРАВНЕНИЕ ДЛЯ РАСЧЕТА НА ЭВМ ГАРАНТИРОВАННЫХ УСЛОВИЙ
ВВОДА УЛЬТРАЗВУКА В РАСПЛАВЛЕННЫЙ МЕТАЛЛ ПРИ ВОССТА-
НОВЛЕНИИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ
ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ НАПЛАВКОЙ

Одним из перспективных способов улучшения эксплуатационных свойств металлов при восстановлении деталей машин является ультразвуковая обработка их расплавов при затвердевании, в том числе при электродуговой наплавке.

Гарантированные условия ультразвуковой обработки расплавов черных металлов и сплавов с использованием непрерывно оплавляемо-

го присадочного волновода, работающего в резонансном режиме, состоят в том, что путем подачи волновода с определенной скоростью создается надежный акустический контакт в системе "присадочный волновод-расплав".

Скорость подачи расходуемого присадочного волновода, обеспечивающая гарантированный акустический контакт в системе "волновод-расплав", определяется из следующих условий.

При установившемся режиме работы системы по длине проволоки будет стационарное распределение температуры. За начало координат ($X = 0$) примем торец волновода, находящийся в контакте с расплавом.

Дифференциально уравнение стационарной теплопроводности для движущегося с постоянной скоростью волновода имеет вид:

$$a \frac{d^2 T}{dx^2} + v \frac{dT}{dx} = f(x), \quad (1)$$

где a - температуропроводность материала волновода;

v - скорость его ввода в расплав;

$f(x)$ - функция, учитывающая выделение тепла в волноводе за счет поглощения им ультразвука, а также утечку тепла в окружающее пространство через его поверхность.

При этом температура по сечению волновода считается постоянной, вследствие достаточно высокой теплопроводности материала волновода. На торце волновода происходит его плавление, поэтому при $X = 0$ должно выполняться условие

$$T_0 = T_{пл} \quad (2)$$

Кроме того, на границе $X = 0$ должно выполняться условие баланса тепла:

$$\alpha (T_p - T_{пл}) + \lambda \left. \frac{dT}{dx} \right|_{x=0} = \rho \kappa v, \quad (3)$$

где T_p - температура расплава;

$T_{пл}$ - температура плавления расходуемого волновода;

α - коэффициент теплообмена между расплавом и волноводом;

λ, κ, ρ - соответственно удельные теплопроводность, теплота плавления и плотность материала волновода.

На границе $X = \infty$ (расходуемый волновод, например, волноводная присадочная проволока в случае электродуговой наплавки в ультразвуковом поле, считается бесконечно длинным) примем условие:

$$T|_{x \rightarrow \infty} = T_0, \quad (4)$$

где T_0 - начальная температура волновода.

Система уравнений (1)-(4) является замкнутой, т.е. позволит определить как стационарное температурное поле с движущимся, плавающим с торца волноводом, так и скорость его движения. Задачи можно решать различными путями. Можно, например, температурное поле искать путем решения системы (1)-(3), скорость v^* в этом случае найдется путем использования условия (4). Можно температурное поле искать путем решения системы (1), (2), (4), тогда скорость v^* найдется из уравнения (3). Окончательный результат в обоих случаях будет одинаков.

Решая систему (1), (2), (4) уравнений и принимая во внимание, что уходящее в волноводную присадочную проволоку тепло за счет теплопроводности не успевает сколько-нибудь заметно отводиться в окружающий воздух, а в основном идет на нагрев проволоки, коэффициент поглощения ультразвука в материале волновода для используемой частоты мал, поэтому можно пренебречь также теплом выделяемым в волноводе за счет поглощения ультразвука, получим формулу для расчета скорости подачи расходуемого присадочного волновода

$$v = \frac{\alpha (T_p - T_{пл})}{\rho R + \rho c (T_{пл} - T_0)} \quad (5)$$

В литературе практически отсутствуют данные по численным значениям коэффициента теплообмена для случая расплавленных металлов вообще, а для условий, близких к рассматриваемым, в частности. Правда, значение α можно определить на основании соотношения (5), найдя экспериментально минимальную скорость, обеспечивающую непрерывный режим ввода излучателя.

Для инженерной практики воспользуемся приближенным выражением для мощности теплового потока, подводимого от зеркала расплавленного металла к торцу волноводной проволоки, приведенным в работах

ранее.

$$Q = 4\lambda_p r (T_p - T_0), \quad (6)$$

где λ_p - удельная теплопроводность расплава;
 r - радиус расходуемого волновода.

Для плотности теплового потока, вместо (6) получим

$$q = \frac{Q}{\pi r^2} = \frac{4\lambda_p}{\pi r} (T_p - T_0) \quad (7)$$

Подставляя это выражение вместо $\alpha (T_p - T_{ам})$ в формулу (5), получим

$$v = \frac{4\lambda_p (T_p - T_0)}{\pi r \rho c + \pi r \rho c (T_p - T_0)} \quad (8)$$

По уравнению (8) производится расчет на ЭВМ скорости подачи волноводной присадочной проволоки, обеспечивающей гарантированные условия ввода ультразвука в расплавленный металл при восстановлении деталей машин сельскохозяйственной техники электродуговой наплавкой.

УДК 621.791.927.5.03+681.31.004.14+66.084

Ивинский В.И.

Шияев А.С.

Фролов Е.Н.

Стукин С.А.

СТАНОК НАПЛАВОЧНЫЙ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭВМ

Для восстановления деталей машин сельскохозяйственной техники разработан, изготовлен и внедрен в промышленное производство ультразвуковой наплавочный станок СМР-051 с использованием средств ЭВМ для оперативной переналадки, в связи с изменением номенклатуры восстанавливаемых деталей и оптимизации режимов наплавки.

Станок предназначен для электродуговой наплавки деталей типа тел вращения (колес, барабанов, полых валов, полых осей и т.п.) в ультразвуковом поле при восстановлении изношенных поверхностей

деталей.

Станок состоит из станины, на которой расположены механизированный привод вращения и подачи детали и поворотная стойка с кронштейном. Механизированный привод состоит из мотор-редуктора, редуктора, шпинделя с устройством для закрепления детали. На кронштейне, имеющем возможность перемещаться вдоль стойки, установлен механизм подачи электродной проволоки, механизм подачи волноводной проволоки и стойка с закрепленными на ней бункером для флюса и пультом управления. К механизму подачи волноводной проволоки прикреплен магнитоострикционный преобразователь. Под наплавляемой деталью установлен бункер для шлака. В комплекте станка также имеются сварочный генератор, ультразвуковой генератор, шкаф с электрооборудованием, стойка для бухты электродной проволоки, стойка для бухты волноводной проволоки.

Для оперативной переналадки и нахождения оптимальных режимов наплавки в ультразвуковом поле производится расчет на ЭВМ скорости подачи волноводной присадочной проволоки в наплавляемый металл.

Скорость подачи волноводной присадочной проволоки, обеспечивающая гарантированный ввод ультразвуковых колебаний в расплавленный металл, определяется по формуле, полученной теоретически, исходя из теплофизической ситуации в системе "волноводная присадочная проволока - расплавленный металл":

$$v = \frac{4\lambda_p (T_p - T_0) \sqrt{1 + \left(\frac{h}{r}\right)^2}}{\pi \gamma_p h + \pi \gamma_{pc} (T_m - T_0)},$$

где λ_p — удельная теплопроводность расплава;

T_p — температура расплава;

T_0 — температура окружающей среды;

γ, γ_{pc}, r — соответственно теплота плавления, теплоемкость, плотность, радиус волноводной присадочной проволоки;

h — глубина погружения волноводной присадочной проволоки в расплав.

Опыт промышленной эксплуатации станка показывает, что использование формулы и средств ЭВМ дает возможность, не прибегая к трудоемким экспериментальным исследованиям, связанными с определением скорости подачи волноводной присадочной проволоки, получить ее значение близкое к номинальному расчетным путем.