

ТЕРМИЧЕСКИЕ ЦИКЛЫ ПРИ ПЛАЗМА-МИГ НАПЛАВКЕ

Н. А. МАКАРЕНКО, канд. техн. наук (Приазов. гос. техн. ун-т, г. Мариуполь),
В. А. НЕВИДОМСКИЙ, инж. (Ново-Краматор. машиностроит. з-д)

Отмечаются недостатки технологии дуговой наплавки порошковой проволокой под флюсом деталей металлургического оборудования, работающих в условиях термической нагрузки. Неравномерное распределение легирующих элементов по сечению наплавленного валика снижает стойкость роликовых машин непрерывного литья. Особенности тепловложения при плазма-МИГ наплавке обуславливают равномерное распределение компонентов наплавляемого сплава уже в первом слое.

Ключевые слова: дуговая наплавка, плазма-МИГ наплавка, ремонтная технология, металлургическое оборудование, тепловложение, термический цикл, распределение элементов

Способы плазменной наплавки, применяющиеся в промышленности, характеризуются рядом технологических преимуществ и во многих случаях обеспечивают достаточно высокое качество наплавленного металла. Тем не менее, именно дуговая наплавка порошковой проволокой позволяет получить наплавленный металл наперед заданного расчетного состава и обеспечить высокие эксплуатационные свойства изделий, работающих в контакте с жидким и нагретым до высоких температур металлом, в условиях термоциклических нагрузок и т. п. [1].

Максимально использовать возможности наплавки порошковой проволокой удается при плазма-МИГ процессе, позволяющем отдельно регулировать ток, а также тепловложение от полоцилиндрической дуги и центральной дуги плавящегося электрода [2–4]. Целью настоящей работы было определение суммарного действия температурных полей от обоих источников нагрева и возможность регулирования термического цикла в окошовной зоне.

Эксперименты проводили при наплавке пластин размером 50×100×400 мм из стали марки 38ХМН, которую выполняли плазматроном марки НМ-4 с медным кольцевым неплавящимся электродом с внутренним диаметром 8 мм и шириной кольца 2 мм. Такие параметры позволяют выдерживать плотность тока до 20 А/мм [5].

На первом этапе определяли возможность замены общего предварительного подогрева (до $T = 400\text{ }^{\circ}\text{C}$) локальным нагревом в зоне наплавки, свойственным плазма-МИГ процессу внешней полоцилиндрической дугой.

Термические циклы определяли по данным, полученным с помощью измерения хромель-алюмелевыми термопарами, расположенными следующим образом: три — вдоль перемещения по оси образца на расстоянии друг от друга 5 мм (спай этих термопар были углублены в просверленные каналы на расстоянии 2; 5 и 10 мм от наплавляемой

поверхности) и три — в поперечном сечении, перпендикулярном оси образца на расстоянии 4 мм друг от друга на глубине 2 мм от поверхности образца (рис. 1, соответственно 7а, 7б, 7в и 7а, 7г, 7д).

Зону измерения (размещения термопар) располагали на участке, равном 2/3 длины пластины, что обеспечивало проведение экспериментов при установившемся тепловом режиме. Параметры режима наплавки следующие: ток плазменной дуги $I_{\text{пл. д}} = 150...200\text{ А}$; напряжение на плазменной дуге $U_{\text{пл. д}} = 44\text{ В}$; ток плавящегося электрода $I_{\text{п.э}} = 280\text{ А}$; напряжение на дуге плавящегося электрода $U_{\text{п.э}} = 22...25\text{ В}$; скорость наплавки $v_{\text{н}} = 22\text{ м/ч}$; расход плазмообразующего (центральной

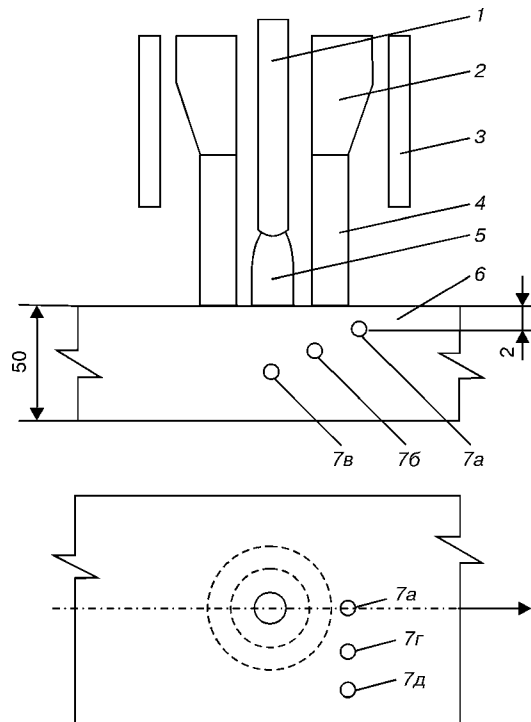


Рис. 1. Схема эксперимента по определению термических циклов: 1 — плавящийся электрод; 2 — неплавящийся электрод; 3 — защитное сопло; 4 — полоцилиндрическая дуга; 5 — дуга плавящегося электрода; 6 — изделие; 7а, 7б, 7в и 7а, 7г, 7д — термопары, расположенные соответственно вдоль линии перемещения электродов по оси образца и в поперечном сечении, перпендикулярном оси образца

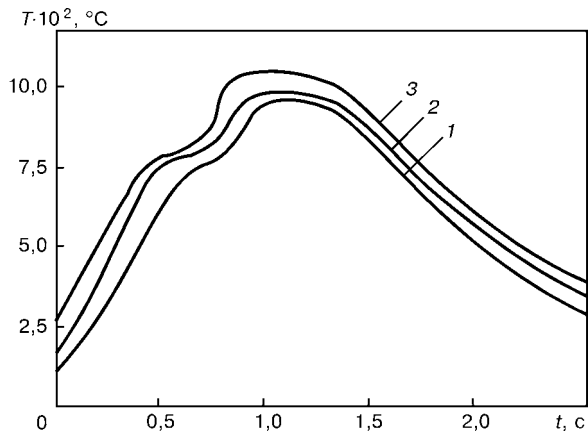


Рис. 2. Изотермы в точке 7а, расположенные по линии перемещения плазматрона при изменении тока плазменной дуги: 1 — $I_{пл.д} = 150$; 2 — 180; 3 — 200 А; $Q_{пл} = 6$ л/мин; $Q_{защ} = 10$ л/мин (ного) газа $Q_{пл} = 5...7$ л/мин; расход защитного газа $Q_{защ} = 10...15$ л/мин.

Были проведены три серии экспериментов при изменении $I_{пл.д}$ (рис. 2); $Q_{пл}$; $Q_{защ}$. Остальные параметры не изменялись. Причем указанные три серии экспериментов проводились дважды — при отсутствии дуги плавящегося электрода ($I_{п.э} = 0$) и при одновременном горении двух дуг с образованием сварочной ванны и валика.

На рис. 2 представлены изотермы, снятые термопарой 7а (см. рис. 1), расположенной по линии перемещения оси плазматрона, при изменении тока плазменной полоцилиндрической дуги (150; 180; 200 А — без горения дуги плавящегося электрода). Начало изотермы соответствует моменту касания пятна нагрева от полоцилиндрической дуги.

Исследования показали, что увеличение расхода плазмообразующего газа $Q_{пл}$ способствует незначительному повышению пика температуры и некоторому снижению температуры нагрева на участке, близком к моменту прохождения плазматрона к термопаре 7а. В дальнейшем температура выравнивается и линии изотерм сливаются в одну, что свидетельствует о том, что расход плазмообразующего газа при остальных неизменных параметрах режимов не влияет на тепловложение.

Опыты по нагреву поверхности пластины показали, что тепловой поток от полоцилиндрической

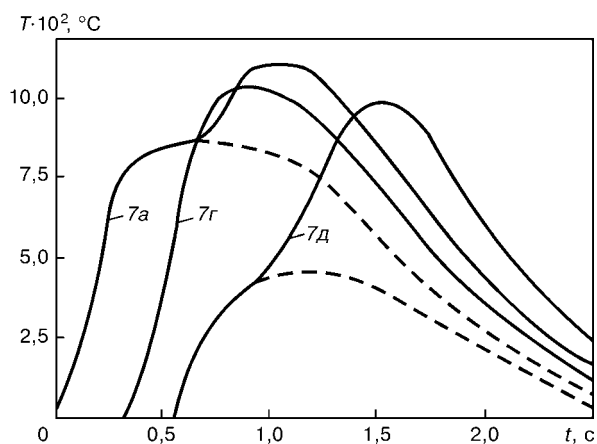


Рис. 3. Термический цикл процесса плазма-МИГ наплавки (изотермы без нагрева дугой плавящегося электрода): 7а, 7г, 7д — термопары, отмеченные на рис. 1

дуги распределяется равномерно по ширине, равной диаметру неплавящегося медного электрода в тот момент, когда в зоне нагрева плазменной дугой проходит передний фронт ванны, возникшей под воздействием плавящегося электрода.

Основной интерес представляет тепловое состояние исследуемого участка в момент нагрева обеими дугами и теплом расплавленного электродного металла.

Предварительное определение зоны плавления основного металла, выполненное на макрошлифах, показало следующее:

глубина расплавления основного металла только от полоцилиндрической дуги составляет 0,2...0,4 мм;

при полном протекании процесса наплавки глубина проплавления равняется 0,4...0,6 мм (по оси валика). Изотермы для точек, находящихся на глубине 2 мм от наплавляемой поверхности (рис. 1, термопары 7а, 7г, 7д), свидетельствуют, что нагрев в точке, расположенной в плоскости оси валика (7а), достигает значения 850...900 °С через 0,4...0,5 с после начала отсчета (рис. 3). За начало отсчета выбран момент достижения переднего фронта пятна нагрева полоцилиндрической дугой точки на поверхности образца, под которой находится термопара 7а.

Далее (через полсекунды) значения температуры 1000...1050 °С фиксирует термопара 7г, что соответствует моменту непосредственного нагрева этого участка переместившейся плазменной дугой. В этот же момент (рис. 3) над термопарой 7а располагается ось плавящегося электрода, а показание термопары увеличивается до 1100...1200 °С. Таким образом, проведенные исследования показывают, что капля электродного металла попадает в ванну небольшой глубины предварительно подплавленного основного металла.

Поскольку при наплавке в указанном диапазоне режимов термические циклы изменяются незначительно, были дополнительно проведены исследования при пониженном значении тока плазменной дуги ($I_{пл.д} = 100...120$ А) и увеличенной скорости перемещения ($v_n = 30$ м/ч), т. е. таким образом было уменьшено тепловложение в изделие от полоцилиндрической дуги.

Термограммы и расчеты показали сохранение закономерности распределения температур, характерной для данного процесса. Однако значения температуры в зоне наплавки уменьшились по сравнению с аналогичным предыдущим экспериментом и составляли 400...500 °С. Следовательно, процесс плазма-МИГ позволяет регулировать температуру предварительного подогрева наплавляемого изделия путем варьирования тока полоцилиндрической дуги.

Интенсивность потока энергии, вводимой каждым из источников, определяли по данным измерений температуры, площади активных пятен и электрических параметров дуг. Площади ввода теплоты (энергии) принимали следующими:

для плазменной дуги — равной площади кольцевого электрода;

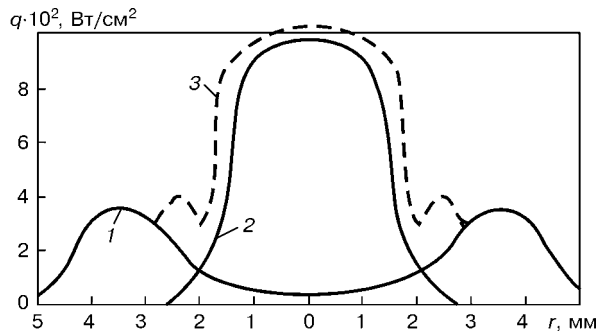


Рис. 4. Распределение плотности теплового потока

для плавящегося электрода — по данным скоростной киносъемки.

Следует отметить, что в последнем случае диаметр активного пятна изменялся в процессе формирования капли от размера, равного диаметру электрода, до диаметра, превышающего первоначальный в 2 раза, и был принят в среднем равным 1,5 диаметрам плавящегося электрода.

Результаты исследований показывают, что тепловложение в изделие состоит из суммы потоков энергии от плазменной дуги и от дуги плавящегося электрода. Была получена зависимость плотности теплового потока q в различных точках пятна нагрева, из которой следует, что q от плазменной дуги достигает своего максимального значения 400 Вт/см^2 на расстоянии $r = 3,5 \text{ мм}$ от точки проекции на образец оси плавящегося электрода (рис. 4, кривая 1).

Значение q в зависимости от тока дуги плавящегося электрода достигает максимального значения (около 1000 Вт/см^2) при $r = 0$ (рис. 4, кривая 2). Зависимости получены при следующих режимах наплавки: $I_{\text{п.л.д}} = 180 \text{ А}$; $U_{\text{п.л.д}} = 44 \text{ В}$; $I_{\text{п.э}} = 280 \text{ А}$; $U_{\text{п.э}} = 23 \text{ В}$; $v_{\text{н}} = 21 \text{ м/ч}$; $Q_{\text{п.л}} = 6 \text{ л/мин}$; $Q_{\text{защ}} = 14 \text{ л/мин}$ (рис. 4, кривая 2). С целью регулирования тепловложения в изделие путем выбора необходимых для оптимального предварительного подогрева поверхности параметров режи-

ма наплавки определена суммарная зависимость плотностей тепловых потоков от плазменной дуги и дуги плавящегося электрода (рис. 4, кривая 3).

Выводы

1. При плазма-МИГ наплавке в диапазоне рабочих параметров изотерма нагрева от полоцилиндрической дуги в точке, отстоящей на 2 мм от поверхности, достигает максимума в момент нахождения на ней оси дуги плавящегося электрода. Глубина расплавления от полоцилиндрической дуги составляет $0,2 \dots 0,4 \text{ мм}$, температура нагрева в измеряемом участке (на глубине 2 мм от поверхности) достигает $1000 \text{ }^\circ\text{С}$.

2. Радиус пятна нагрева от полоцилиндрической дуги незначительно превышает диаметр электрода, тепловая энергия вводится в изделие по периферии пятна и зависит от тока, напряжения и скорости перемещения.

3. Процесс плазма-МИГ наплавки позволяет регулировать тепловложение путем изменения основных параметров наплавки в достаточно широком диапазоне.

1. Фрумил И. И. Автоматическая электродуговая наплавка. — Харьков: Metallurgizdat, 1961. — 421 с.
2. Макаренко Н. А., Грановский А. В., Кондрашов К. А. Улучшение технологических характеристик плазма-МИГ наплавки порошковых проволок // Автомат. сварка. — 2001. — № 6. — С. 53–55.
3. Особенности плавления электродной проволоки при наплавке способом плазма-МИГ / В. В. Чигарев, Н. А. Макаренко, К. А. Кондрашов, Н. М. Вороний // Там же. — 2001. — № 8. — С. 12–15.
4. Чигарев В. В., Макаренко Н. А., Кондрашов К. А. Особенности разработки технологии изготовления прессформ, стойких к термодинамическим нагрузкам // Удосконалення процесів та обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні. — Краматорськ: ДДМА, 2000. — С. 511–514.
5. Кондрашов К. А., Чигарев В. В., Макаренко Н. А. Исследование энергетических и технологических особенностей плазма-МИГ наплавки // Тр. VII региональной науч.-техн. конф. — Мариуполь, ПГТУ, 2000. — Т. 2. — 99 с.

Drawbacks of the technology for flux-cored wire submerged-arc surfacing of metallurgical equipment parts operating under thermal loading conditions are noted. Non-uniform distribution of alloying elements across the deposited bead section leads to decrease in strength of the roll-type continuous casting machines. Peculiarities of heat input in plasma MIG surfacing provide uniform distribution of the surfacing alloy components in the first layer.

Поступила в редакцию 08.07.2002,
в окончательном варианте 05.08.2002