

УЛУЧШЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛАЗМА-МИГ НАПЛАВКИ ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКОЙ

Н. А. МАКАРЕНКО, канд. техн. наук, А. В. ГРАНОВСКИЙ, К. А. КОНДРАШОВ, инженеры
(Приазов. гос. техн. ун-т, г. Мариуполь)

Рассмотрены особенности протекания реакций между некоторыми компонентами шихты порошковой проволоки в процессе плазма-МИГ наплавки. Показано, что присутствие соединений галогенидов в столбе дуги способствует стабилизации процесса саморегулирования дуги плавящегося электрода. Образование трифторида бора в сердечнике порошковой проволоки на стадии нагрева на вылете способствует улучшению формирования валика.

Ключевые слова: плазма-МИГ наплавка, порошковая проволока, стабилизация горения дуги, формирование валика, пресс-формы

Плазма-МИГ наплавка с применением порошковой проволоки используется при ремонте пресс-форм из легированного чугуна и изготовлении пресс-форм из стали 45 для формовки изделий из химически агрессивных в нагретом состоянии материалов, в частности стеклянных изоляторов [1]. Плазма-МИГ наплавка обеспечивает малую глубину проплавления основного металла, повышает производительность процесса плавления, а также имеет ряд технологических преимуществ по сравнению с другими способами наплавки [2–5].

При плазма-МИГ сварке (наплавке) одна дуга 4 горит между торцом внутреннего неплавящегося электрода цилиндрической формы 2 и изделием 6 (рис. 1). Эта дуга формируется в канале плазмообразующего сопла 3. По оси плазмотрона подается электрод 1. Электрический контакт между неплавящимся и плавящимся электродами отсутствует. Питание дуги неплавящегося электрода осуществляется от источника с падающей внешней вольт-амперной характеристикой, а дуги плавящегося электрода 5 — от источника с жесткой характеристикой.

Плазмотрон сконструирован так, что токоподвод отстоит от среза сопла на 100... 130 мм, длина плазменной дуги, охватывающей плавящийся электрод, на 5... 8 мм превышает длину дуги, горящей от этого электрода. Таким образом, проволока на этом участке вылета, помимо нагрева проходящим током, дополнительно нагревается теплом плазменной дуги.

Замечено, что процесс плазма-МИГ сварки (наплавки) менее стабилен, чем большинство других дуговых способов наплавки. Нарушение его стабильности обуславливается низкой напряженностью электрического поля E в столбе дуги плавящегося электрода. Эта дуга имеет температуру ниже, чем плазменная дуга, и получает дополнительные энергии и носители зарядов со стороны последней [4]. Этим объясняется малоэффективность процесса саморегулирования дуги плавящегося электрода.

Целью проведенных исследований было повышение стабильности процесса наплавки и улучшение качества наплавленного металла.

Исследования выполняли при плазма-МИГ наплавке металла типа 2Х13Н12ГС2Р2 порошковой проволокой диаметром 2 мм со стальной оболочкой и шихтой различных составов с применением плазмообразующего и защитного аргона. Для повышения разгаростойкости в наплавленный металл вводили незначительную массовую долю алюминия и меди.

Режим наплавки отдельных валиков следующий: в случае плазменной дуги — $I_{св} = 100... 200$ А; $U_{д} = 40... 45$ В; в случае дуги плавящегося электрода — $I_{св} = 100... 120$ А; $U_{д} = 26... 30$ В; расход плазмообразующего аргона составляет 5... 7 л/мин, защитного — 10 л/мин; скорость перемещения — 30 м/ч.

О стабильности протекания процесса горения плазменной дуги и плавлении электродной проволоки судили по изменению электрических параметров, регистрируемому на экране осциллографа С2-16, а также по характеру формирования наплаваемого валика (визуальное наблюдение). Исследования проводили при постоянных условиях в соответствии с заранее отрегулированными параметрами.

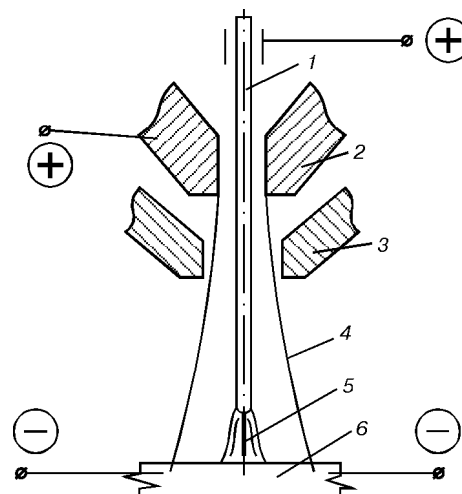


Рис. 1. Схема процесса плазма-МИГ сварки (наплавки) (см. обозначения в тексте)

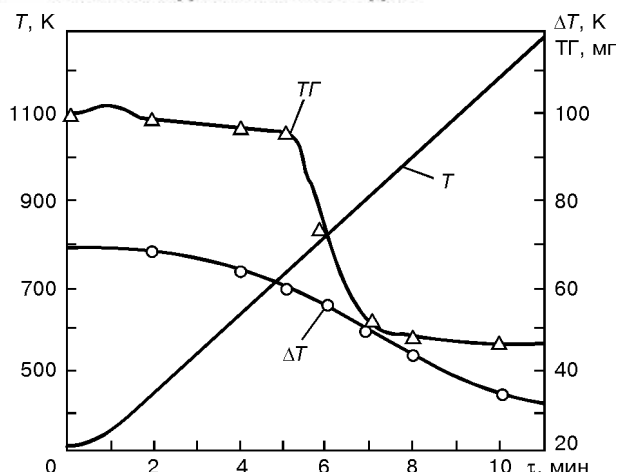


Рис. 2. Термограмма образования BF_3 из AlF_3 и B_2O_3 (T — температура нагрева компонентов шихты; TG — потеря массы; ΔT — разница температур внутри тигля и нагревающей среды; τ — время испытаний)

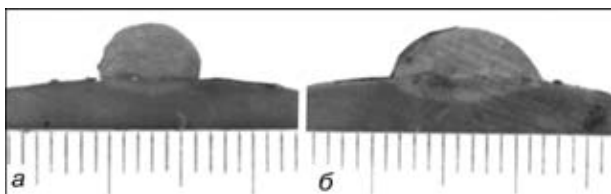


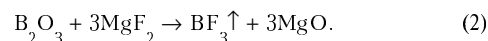
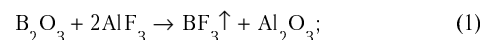
Рис. 3. Зона сплавления основного и наплавленного металла при использовании порошковых проволок, выделяющих SiF_4 (а) и BF_3 (б)

рами режима. Изменяли только состав порошковой проволоки — без галогенидов металлов и с галогенидами кремния, алюминия, калия и меди.

Результаты исследований показали, что введение в состав порошковой проволоки таких компонентов, как фториды и хлориды, улучшает стабильность процесса наплавки. Так, выделяющийся из SiF_4 фтор имеет высокий (16,9 В) потенциал ионизации и ухудшает электропроводность столба дуги, что ведет к повышению напряженности электрического поля в столбе дуги и улучшению процесса саморегулирования дуги плавящегося электрода. Однако при этом наблюдали неудовлетворительное формирование валика. В ходе исследований были проведены опыты по замене тетрафторида кремния на трифторид бора BF_3 , который применяется при

пайке и обеспечивает надежное смачивание припоем основного металла даже без расплавления последнего [5].

Реакции взаимодействия могут протекать по схемам:



Значения изобарно-изотермного потенциала реакций образования BF_3 при различных температурах рассчитаны согласно [6, 7].

На рис. 2 представлена термограмма реакции (1), из которой видно, что она протекает при температуре плавления B_2O_3 . При этом выделяется BF_3 и в незначительных количествах BF_2 и BF .

На практике в состав порошковой проволоки вводят не чистые компоненты, а их соединения — плавящую бору и криолит. При одновременном введении бору и криолита снижается количество оксидных включений в наплавленном металле, что объясняется растворением последних в образующемся шлаке.

Стабильность процесса плазма-МИГ наплавки при введении в шихту фторидов повышается. При этом несплавление наплавленного металла с основным отсутствует. Благодаря избыточной температуре присадочного материала и высокой активности BF_3 и SiF_4 процесс протекает практически без расплавления основного металла. В то же время наблюдается удовлетворительное растекание металла валика по наплаваемой поверхности (рис. 3).

С целью рафинирования наплавленного металла и, как следствие, повышения разгаростойкости изделия, в состав порошковой проволоки вводили хлориды — смесь CuCl_2 и KCl . Хлор так же, как и фтор, повышает напряженность электрического поля в столбе дуги (потенциал ионизации составляет 13 В). Хлориды способствуют также удалению оксидных загрязнений с поверхности частиц металлических компонентов сердечника проволоки после ее проковки.

В процессе проковки порошковой проволоки происходит распад CuCl_2 :

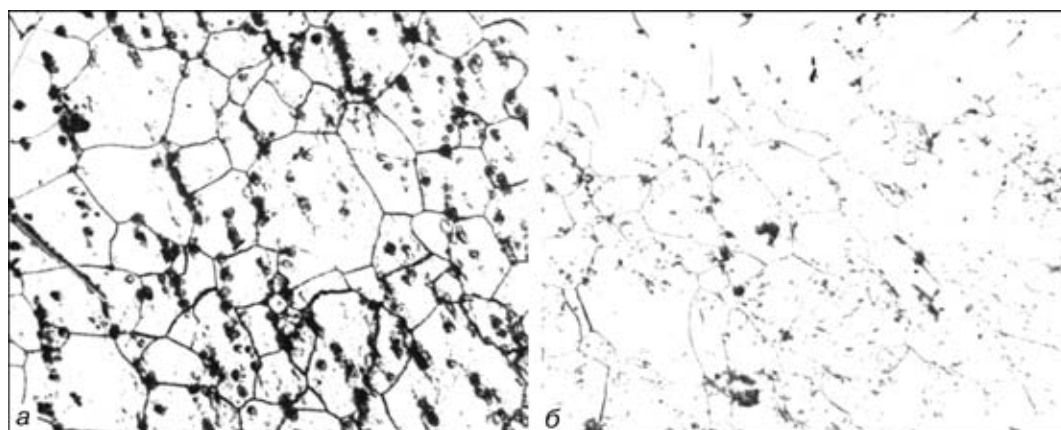
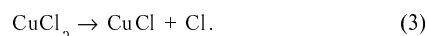
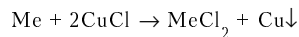


Рис. 4. Микроструктура ($\times 200$) наплавленного металла, полученная при использовании порошковых проволок, выделяющих SiF_4 (а) и BF_3 (б)

Выделившийся в результате реакции (3) атомарный хлор очень активен. Соединяясь с оксидами на поверхности частиц порошка, он образует легкоплавкие оксихлориды.

Наличие KCl приводит к образованию эвтектики CuClKCl, имеющей температуру плавления 120 °С и легко растворяющей оксихлориды. В результате реакции по схеме:



выделяется медь, которая оседает на частицах порошка и предохраняет их от дальнейшего взаимодействия с расплавом CuClKCl. Экспериментально методом погружения образцов металлов в расплав CuClKCl подтверждена высокая вероятность протекания подобных реакций. При этом оксидная пленка на поверхности частиц растворяется. Результаты металлографических исследований показали, что в металле, наплавленном порошковой проволокой, содержащей CuCl₂KCl, практически отсутствуют включения не только оксидного, но и нитридного характера (рис. 4). Такое явление можно объяснить тем, что на поверхности частиц порошка нитриды присутствуют совместно с оксидами, что приводит к удалению осаданий обоих типов.

Наличие CuCl₂KCl в составе шихты порошковой проволоки приводит к тому, что вследствие растворения в ней AlF₃ и B₂O₃ реакция происходит в момент прокаливания проволоки, так как изменение термодинамического потенциала ΔG этой реакции имеет отрицательное значение при комнатной температуре [8]. В таком случае целесообразнее вводить в шихту порошковой проволоки MgF₂ и B₂O₃, поскольку значение ΔG становится отрицательным только при температуре непосредственно процесса наплавки.

Peculiarities of occurrence of reactions between certain components of the charge of flux-cored wire during plasma-MIG surfacing are considered. It is shown that the presence of halide compounds in the arc column favours stabilization of the process of self-adjustment of the consumable-electrode arc. Formation of boron tri-fluoride in the flux-cored wire core at a stage of heating at the extension improves the weld bead formation.

Особенности протекания химических реакций компонентов шихты в условиях плазма-МИГ наплавки должны учитываться при разработке составов порошковых проволок.

Выводы

1. Для улучшения стабильности горения дуги и плавления порошковой проволоки при плазма-МИГ наплавке в состав проволоки предложено вводить фтор- и хлорсодержащие соединения, обеспечивающие повышение потенциала ионизации.
2. Улучшению смачиваемости поверхности наплаваемых заготовок из стали или чугуна и растекания металла валика способствует образование трифторида бора в сердечнике порошковой проволоки на стадии ее нагрева на вылете.

1. Макаренко Н. А. Плазменная наплавка с аксиальной подачей порошковой проволоки // Автомат. сварка. — 1998. — № 1. — С. 40–43.
2. Mussy G., Vas A., Bica I. Wirtsh aftlichkeit und Technologie beim Plasma-MIG Schweißen // Lis-Mitt. — 1983. — № 1. — S. 60–67.
3. Moestue H. Plasma-MIG rolls over SA for steel plant repairs // Weld. and Metal. Fabrik. — 1981. — № 8. — P. 465–467.
4. Ton H. Physical properties of the plasma-MIG welding arc // J. Physics D: Applied Physics. — 1975. — № 8. — P. 922–938.
5. Есуберлин Р. Е. Пайка и термическая обработка деталей в газовой среде и вакууме. — Л.: Машиностроение, 1972. — 192 с.
6. Петров Г. А., Тумарев А. С. Теория сварочных процессов. — М.: Высш. шк., 1967. — 503 с.
7. Термодинамические свойства неорганических веществ: Справочник / Под ред. А. И. Зефирова. — М.: Атомиздат, 1965. — 465 с.
8. Явойский В. И., Рубенич Ю. И., Оленко А. Г. Неметаллические включения и свойства стали. — М.: Металлургия, 1980. — 176 с.

Поступила в редакцию 13.07.2000,
в окончательном варианте 12.02.2001