



## ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА НАПЛАВЛЕННОГО МЕТАЛЛА ПРИ ПЛАЗМА-МИГ НАПЛАВКЕ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

В. В. ЧИГАРЕВ, д-р техн. наук, К. А. КОНДРАШОВ, канд. техн. наук, Н. А. ГРАНОВСКИЙ, асп.  
(Приазовский гос. техн. ун-т, г. Мариуполь)

Рассмотрены особенности плазма-МИГ наплавки алюминиевых сплавов. Выявлены условия образования неметаллических включений оксидного характера в наплавленном металле, причиной которых является оксидная пленка на поверхности плавящегося электрода. Предложена схема установки для плазма-МИГ наплавки, работающая в импульсном режиме и позволяющая удалять оксидную пленку с поверхности плавящегося электрода. Полученные результаты позволяют резко снизить количество неметаллических включений в наплавленном металле.

*Ключевые слова:* плазма-МИГ, алюминиевые сплавы, неметаллические включения

Процессы плазменной сварки [1] и наплавки находят все более широкое применение в промышленности. Одним из быстроразвивающихся методов плазменной наплавки является плазма-МИГ, имеющая широкие технологические возможности и высокую производительность вследствие интенсивного нагрева плавящегося электрода внутри плазматрона [2]. Для процессов плазма-МИГ сварки и наплавки разработано специализированное оборудование [3].

Перспективно применение процессов плазма-МИГ наплавки изделий из деформируемых и литейных сплавов на основе алюминия [4]. Этот процесс особенно эффективен при восстановлении массивных деталей с большим объемом наплавленного металла. Однако, как показали исследования, в последнем имеются неметаллические включения оксидного характера, отрицательно влияющие на рабочие характеристики наплавленного металла [5]. Таким образом, имеется необходимость повышения качества наплавленного металла при плазма-МИГ наплавке алюминиевых сплавов путем уменьшения в нем неметаллических включений оксидного характера.

Целью работы является выяснение причин появления оксидных включений в наплавленном металле при плазма-МИГ процессе и разработка методов их устранения. При сварке плавящимся электродом в аргоне алюминия вследствие перехода капли через дуговой промежуток возможно окисление ее поверхности, что повышает требования к газовой защите зоны сварки. В связи с этим в качестве плазмообразующего и защитного газов применяли аргон особой чистоты, а плазматрон ПМНА-3, разработанный в ПГТУ, дополнительно был оснащен защитным соплом диаметром 80 мм, имеющим сетчатые газовые линзы. Однако замет-

ного снижения количества оксидных включений в наплавленном металле не наблюдалось, что позволило сделать вывод о попадании последних в сварочную ванну в основном с поверхности плавящегося электрода. Это объясняется тем, что процесс наплавки алюминия, как правило, производится на постоянном токе обратной полярности. Изделие в данном случае является катодом, поэтому оксидная пленка с его поверхности вследствие эффекта катодного распыления удаляется очень хорошо. При этом неплавящийся и плавящийся электроды являются анодами, вследствие чего оксидная пленка с плавящегося электрода не удаляется. При плавлении плавящегося электрода оксидная пленка переходит в ванну, при кристаллизации которой образуются включения оксидного характера.

С целью обеспечения удаления оксидной пленки с поверхности плавящегося электрода непосредственно в процессе наплавки кафедрой металлургии и технологии сварочного производства ПГТУ создана установка для плазма-МИГ наплавки (рис. 1). Как видно из рисунка, в цепь питания дуги плавящегося электрода включены два силовых транзистора 5, 7, цепи управления которых подсоединены к схеме управления, которая поочередно открывает транзисторы. При открытии од-

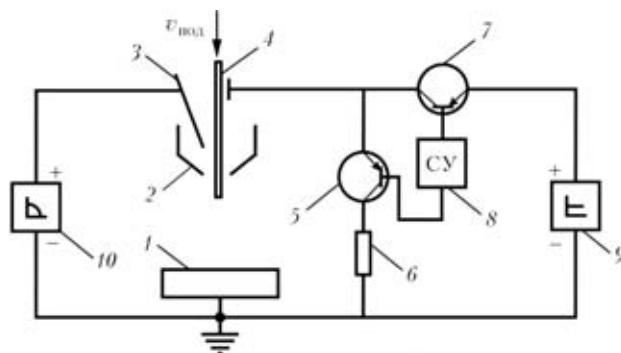


Рис. 1. Схема установки для плазма-МИГ наплавки: 1 — изделие; 2 — сопло плазматрона; 3, 4 — неплавящийся и плавящийся электрод; 5, 7 — силовые транзисторы; 6 — балластный резистор; 8 — схема управления силовыми транзисторами; 9, 10 — соответственно источник питания плазменной дуги и плавящегося электрода



ного из них второй запирается (управление транзисторами противофазное). При отпирании транзистора 7 плавящийся электрод оказывается подсоединенным к источнику питания 9, при этом горит дуга «плавящийся электрод–изделие». На приведенной диаграмме работы установки (рис. 2) этому процессу соответствует время  $t_1$ . В момент  $t_2$  транзистор 7 запирается, а 5 открывается, при этом плавящийся электрод через балластный резистор б оказывается подсоединенным к изделию 1, т. е. по отношению к неплавящемуся электроду становится катодом, в связи с чем происходит зажигание дуги на участке «неплавящийся электрод–плавящийся электрод». Ток дуги определяется резистором б. В этот момент ( $t_2$ ) происходит катодная очистка поверхности плавящегося электрода.

Данные, приведенные в работе [6], показывают, что для эффективной катодной очистки поверхности изделия из алюминия возможно применение противофазного импульсного тока с длительностью импульсов тока прямой полярности 19 и обратной полярности 3 мс. Эти данные были приняты за основу.

Наплавку производили на пластины из электротехнического алюминия толщиной 12 мм проволокой марки СвАК5 диаметром 1,6 мм на следующих режимах:

ток дуги плавящегося электрода, А .....	240
напряжение дуги плавящегося электрода, В .....	22
ток плазменной дуги, А .....	125
напряжение плазменной дуги, В .....	38
диаметр канала сопла, мм .....	6
скорость сварки, м/ч .....	18
расход плазмообразующего газа, л/мин .....	8,8
расход защитного газа, л/мин .....	52
время $t_1$ , мс .....	19
время $t_2$ , мс .....	3
ток в момент $t_2$ , А .....	30

Измерение токов плавящегося и неплавящегося электродов проводили электронными осциллографами. Поскольку плавящийся электрод погружен в столб плазменной дуги, дополнительных мер по повторному возбуждению дуги после обработки импульсов  $t_1$  и  $t_2$  не требуется, в начале каждого из режимов времени  $t_1$  и  $t_2$  дуга зажигается стабильно.

С целью оценки зоны катодной очистки на плавящемся электроде мундштук для подачи последнего вынимали из плазмотрона, а на его место вставляли заглушку с закрепленной в ней алюминиевой шиной сечением 3,0×1,6 мм. Шина проходила через весь канал сопла и выходила на 3 мм за его пределы. Источник питания 9 дуги плавящегося электрода отключался. После возбуждения плазменной дуги начинала работать схема управления 8, которая по отсчету пятидесяти импульсов,

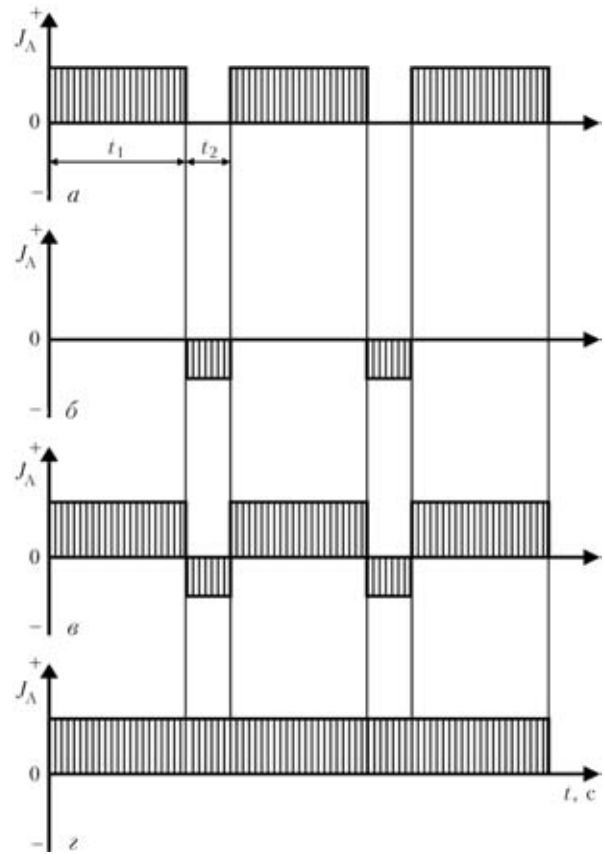


Рис. 2. Диаграмма работы установки: а, б — соответственно ток транзистора 7 и 5; в, г — ток соответственно плавящегося и неплавящегося электрода

подаваемых на транзистор 5, автоматически отключалась, при этом отключалась вся установка. После этого заглушку с закрепленной в ней алюминиевой шиной извлекали и осматривали с целью оценки эффективности катодной очистки по площади очищенного металла. Количество неметаллических включений определяли металлографическим путем на микрошлифах площадью 1 см<sup>2</sup>, вырезанных из наплавленного металла (рис. 3).

Применяя разработанный в ПГТУ универсальный однофазный источник питания, имеющий общий силовой трансформатор с отдельными вто-

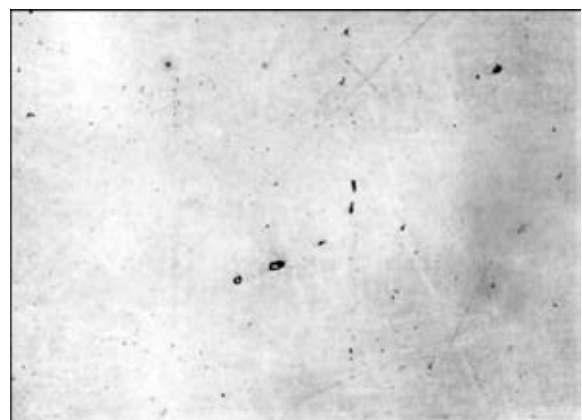


Рис. 3. Микроструктура с неметаллическими включениями металла (×200), наплавленного плазмотроном ПМНА-3 в стандартном исполнении (без увеличенного сопла для подачи защитного газа). Режим наплавки непрерывный



Рис. 4. Алюминиевый образец-шина после ее испытаний внутри плазматрона

**Влияние параметров цикла  $t_1$  и  $t_2$  на процесс очистки поверхности образца-шины внутри плазматрона и количество неметаллических включений в наплавленном металле**

Значения $t_1$ и $t_2$ , мс	Площадь очистки образца-шины внутри плазматрона, мм <sup>2</sup>	Количество неметаллических включений на 1 см <sup>2</sup> сечения наплавленного валика, шт.
$t_1 = \infty, t_2 = 0$	0	17...23
$t_1 = 19, t_2 = 3$	9...12	3...6
$t_1 = 7, t_2 = 3$	14...17	0...2

ричными обмотками для питания плазменной дуги и дуги плавящегося электрода, обнаружены недостатки, присущие режиму горения дуги 19 мс и паузе в ее горении 3 мс. При таком цикле работы в обмотке трансформатора, питающей дугу плавящегося электрода, появляется постоянная составляющая, которая вызывает подмагничивание сердечника трансформатора и нарушает нормальный процесс наплавки, при этом появляются характерные вибрации силового трансформатора. Последнее связано с тем, что длительность одного полупериода переменного тока составляет 10 мс, в то время как длительность цикла тока, потребляемого дугой плавящегося электрода от источника питания, составляет  $T_y = t_1 + t_2 = 19 + 3 = 22$  мс. В связи с этим одна полуволна питающего тока используется полностью, а в другой имеется пауза 3 мс, которая и приводит к появлению постоянной составляющей в обмотке силового трансформатора, питающей дугу плавящегося электрода.

В связи с изложенным выше цикл работы установки изменили. Длительность протекания тока дуги плавящегося электрода 4 через силовой трансформатор 7 уменьшена до 7 мс (при сохранении времени паузы 3 мс). При этом изменении процесс наплавки проходил стабильно с одновременным снижением количества неметаллических включений в наплавленном металле и увеличением площади очистки образца-шины (рис. 4) внутри плазматрона (таблица).

Установлено, что оптимальная фаза начала времени  $t_2$  цикла находится в пределах 20...70 эл. град. Именно при этих условиях в наплавленном металле наблюдается практически полное отсутствие неметаллических включений оксидного ха-

рактера, а процесс наплавки проходит наиболее стабильно.

Перспективно продолжить исследования по оптимизации импульсных режимов плазма-МИГ наплавки алюминиевых сплавов, что позволит улучшить качество наплавленного металла и увеличить производительность наплавки путем дополнительного нагрева плавящегося электрода дугой неплавящийся электрод – плавящийся электрод.

## Выводы

1. Основным источником неметаллических включений оксидного характера в наплавленном металле при плазма-МИГ наплавке алюминиевых сплавов являются оксиды, находящиеся на поверхности электродной проволоки.

2. Импульсный режим горения дуги плавящегося электрода, при котором последний периодически становится катодом по отношению к неплавящемуся электроду, позволяет удалить оксидную пленку с поверхности плавящегося электрода и уменьшить количество неметаллических включений в наплавленном металле.

3. Оптимальное соотношение времени горения дуги плавящегося электрода и времени его катодной очистки соответственно 7 и 3 мс, что позволяет наиболее полно удалять оксиды с поверхности плавящегося электрода и применять в качестве источника питания однофазный выпрямитель.

4. При применении однофазного выпрямителя оптимальной фазой начала катодной очистки является 20...70 эл. град.

1. Макаренко Н. А., Гвоздецкий В. С. Плазменная сварка // Автомат. сварка. — 2000. — № 12. — С. 26–30.
2. Особенности плавления электродной проволоки при наплавке способом плазма-МИГ / В. В. Чигарев, Н. А. Макаренко, К. А. Кондрашов, Н. М. Воропай // Там же. — 2001. — № 8. — С. 12–15.
3. Универсальная установка для плазма-МИГ сварки и наплавки / А. Н. Корниенко, Н. А. Макаренко, К. А. Кондрашов, А. В. Грановский // Свароч. пр-во. — 2001. — № 9. — С. 30–31.
4. Shevers A. Plasma-MIG lassen van aluminium kanvordelen bieden voven MIG lassen // Bedrijf en techn. — 1997. — 11, № 98. — P. 140–142.
5. Газоэлектрическая сварка алюминиевых сплавов / С. Н. Киселев, В. А. Хаванов, В. В. Рошин, В. И. Таран. — М.: Машиностроение, 1972. — 176 с.
6. Млаховский В. А. Плазменная сварка. — М.: Высш. шк., 1974. — 80 с.

Peculiarities of plasma-MIG cladding of aluminium alloys are considered. As found, the cause of formation of oxide-type non-metallic inclusions in the deposited metal is an oxide film on the consumable electrode surface. Suggested is the diagram of the plasma-MIG cladding unit, which operates in the pulsed mode and allows removal of the oxide film from the consumable electrode surface. The results obtained allow a dramatic decrease in the amount of non-metallic inclusions in the deposited metal.