

УДК 621.791.927.5

Богуцкий А. А., Макаренко Н. А.

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МАТЕРИАЛА ДЛЯ ИЗНОСОСТОЙКОЙ ПЛАЗМА-МИГ НАПЛАВКИ ДЕТАЛЕЙ, РАБОТАЮЩИХ В УСЛОВИЯХ ТРЕНИЯ МЕТАЛЛА О МЕТАЛЛ

Износ при трении металла о металл при нормальных температурах происходит в подшипниках скольжения (коленчатые валы, оси, пальцы ковшовых цепей), а также при трении качения (крановые колеса, детали ходовой части гусеничных машин, скаты вагонеток и т. п.). В узле трения обычно присутствуют абразивные частицы: окалина, песок, руда, частицы наклепанного металла и др. На износостойкость трущейся пары влияет много факторов: соотношение твердости трущихся поверхностей, удельная нагрузка, концентрация и твердость абразива, микроструктура наплавленного слоя. Для наплавки деталей, работающих в этих условиях, чаще всего используют низколегированные стали типов А и В по классификации МИС (15Г2Х, 30ХГСА, 20Х2Г2М, 50Х5ФТ, 3Х5Г2М), а в тех случаях, где рабочие поверхности подвержены большим контактными нагрузкам, – самоупрочняющиеся стали с нестабильным аустенитом и др. [1].

Считаем наиболее целесообразным использование в качестве способа для восстановления и упрочнения деталей, работающих в таких условиях, процесса плазма-МИГ наплавки с применением порошковой проволоки, как наиболее экономически и технологически эффективного по сравнению с другими методами наплавки [2–7].

Целью разработки является повышение коэффициента наплавки, снижение потерь на угар и разбрызгивание, уменьшение глубины проплавления основного металла, ликвидация дефектов: наплывов и несплавлений с основным металлом. Задача исследования – оптимизация шихты порошковой проволоки.

Ферромарганец является источником марганца в наплавленном металле, что способствует повышению его прочности и износостойкости. При содержании ферромарганца менее 12 % – его влияние оказывается недостаточным; при содержании ферромарганца более 14 % – в наплавленном металле появляются трещины.

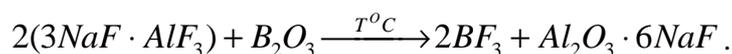
Алюминий является раскислителем, он препятствует выгоранию ферромарганца, упрочняет наплавленный металл, повышая его износостойкость за счет образования интерметаллидов. При содержании алюминия менее 5 % – его влияние оказывается недостаточным; при содержании алюминия более 7 % – дальнейшего улучшения свойств порошковой проволоки не происходит.

Железный порошок повышает производительность наплавки. Установлено, что при содержании железного порошка менее 63,8 % – его влияние недостаточно; при содержании железного порошка более 65,8 % – снижается прочность наплавленного металла.

Ванадат стронция при нагреве распадается с выделением оксида стронция и оксида ванадия. Оксид стронция имеет низкую работу выхода электрона и, попадая в шлак на наплавляемую деталь, снижает прикатодное падение напряжения (наплавка ведется на обратной полярности), что приводит к уменьшению выделения энергии на изделии, что, в свою очередь, приводит к снижению глубины проплавленного основного металла. Оксид стронция имеет щелочной характер, в результате чего легко вступает в реакцию с кислыми оксидами серы и фосфора, образуя сульфаты и фосфаты, тем самым предотвращается кипение ванны при выделении газообразных серного и фосфатного ангидридов, что ведет к снижению потерь на разбрызгивание. Образующаяся при распаде ванадата стронция окись ванадия служит окислителем. Она окисляет серу и фосфор, восстанавливаясь до ванадия, который легирует наплавленный металл. При содержании ванадата стронция менее 3 % – его влияние оказывается недостаточным; при содержании ванадата стронция более 5 % – увеличивается количество шлака, снижается производительность наплавки.

Титан упрочняет наплавленный металл за счет образования интерметаллидов. Титан реагирует с окисью ванадия, образующейся при распаде ванадата стронция, восстанавливает окись ванадия до ванадия, при этом титан окисляется до оксида титана. Эта реакция сопровождается выделением тепла в сердечнике порошковой проволоки, что увеличивает производительность наплавки. Особенно эффективно такое применение титана в сочетании с алюминием. Оксиды титана, образующиеся в результате реакции, способствуют мелкокапельному переносу расплавленного электродного металла в сварочную ванну, что снижает потери металла на угар и разбрызгивание. Кроме того, оксиды титана улучшают смачивание основного металла жидким электродным металлом, снижают вязкость шлака, способствуют ликвидации неметаллических включений в наплавленном металле. При содержании титана менее 1,2 % – его влияние недостаточно; при содержании титана более 2,2 % – дальнейшего улучшения свойств порошковой проволоки не происходит.

Криолит является источником ионов натрия в дуге, чем повышает подвижность дуги, способствует снижению глубины проплавления основного металла. Криолит способствует связыванию водорода, так как содержит в своем составе фтор. Криолит также является шлакообразующим компонентом, который повышает активность шлака, способствует переводу тугоплавких оксидов в оксифториды. Криолит реагирует при нагреве с борным ангидридом:



Продуктом реакции является оксид алюминия, растворяющийся во фтористом натрии криолита и поэтому не вызывающий неметаллических включений в наплавленном металле. Фтористый бор представляет собой газ, который в инертной атмосфере является сильным активатором процесса смачивания твердого металла жидким, что способствует ликвидации наплывов и несплавлений с основным металлом. Борный ангидрид также способствует смачиванию основного металла жидким. Реакция борного ангидрида с криолитом сопровождается выделением тепла, что также способствует нагреву сердечника порошковой проволоки и повышает коэффициент наплавки. Фтористый бор активно удаляет оксиды с поверхности частиц, что способствует уменьшению возникновения шлаковых включений в наплавленном металле. При содержании криолита менее 4 % – его влияние недостаточно, а при его содержании более 7 % дальнейшего улучшения свойств порошковой проволоки не происходит. При содержании борного ангидрида менее 4 % в наплавленном металле есть неметаллические включения; при содержании борного ангидрида более 6 % увеличиваются потери на угар и разбрызгивание.

Изготовлены опытные образцы порошковых проволок трубчатого сечения диаметром 2,2 мм, их составы представлены в табл. 1.

Таблица 1

Составы изготовленных опытных порошковых проволок

Компонент	Содержание компонента, мас. %				
	1	2	3	4	5
Ферромарганец	10	12	13	14	15
Алюминий	4	5	6	7	8
Железный порошок	68	65,8	64,2	63,8	63,6
Титан	1,0	1,2	1,8	2,2	2,4
Криолит	8	7	6	4	2
Борный ангидрид	7	6	5	4	3
Ванадат стронция	2	3	4	5	6

Для изготовления порошковой проволоки применялась лента марки 08 КП, сечением $0,5 \times 15$ мм. Выполнялась многослойная плазменная наплавка с аксиальной подачей порошковой проволоки при обратной полярности обеих дуг на следующем режиме: ток плазменной дуги – 105 А; напряжение плазменной дуги – 48 В; ток плавящегося электрода – 340 А; напряжение дуги плавящегося электрода – 26 В; расход аргона: плазмообразующего – 5,4 л/мин, защитного – 15 л/мин; скорость наплавки – 48 м/ч. Наплавка производилась на пластины из стали 20 размером 12100×300 мм.

Исследованы технико-технологические показатели опытных порошковых проволок, разработанных с целью повышения износостойкости наплавленного металла, составы которых приведены в табл. 2.

Таблица 2

Технические показатели опытных порошковых проволок

Состав порошковой проволоки	Коэффициент наплавки, г/А ч	Потери на угар и разбрызгивание, %	Глубина проплавления, мм	Относительная площадь напылов % к общей площади наплавки
1	25,9	7,2	2,1	4
2	27,1	5,4	1,6	Нет
3	28,3	5,6	1,9	Нет
4	26,2	6,2	1,8	Нет
5	24,4	6,4	2,2	6

Шихта порошковой проволоки содержит криолит, борный ангидрид и ванадат стронция при следующем содержании компонентов, мас. %: ферромарганец 12–14; алюминий 5–7; железный порошок 63,8–65,8; титан 1,2–2,2; криолит 4–7; борный ангидрид 4–6; ванадат стронция 3–5, причем коэффициент заполнения проволоки составляет 32 %.

Перспективно продолжить исследования по оптимизации состава шихты разработанной порошковой проволоки с целью дальнейшего повышения коэффициента наплавки.

ВЫВОДЫ

1. Разработанная порошковая проволока для плазма-МИГ наплавки деталей, работающих в условиях трения металла о металл, обеспечивает хорошие технико-технологические показатели: высокий коэффициент наплавки (26,2–27,1 г/Ач); низкие потери на угар и разбрызгивание (5,4–6,2 %); малую глубину проплавления основного металла (1,6–1,8 мм), что приводит к экономической целесообразности применения данного вида процесса для упрочнения и восстановления рабочей поверхности.

2. Установлено, что оптимальный состав порошковой проволоки, позволяющий получить высокую стойкость наплавленного металла, следующий, мас. %: ферромарганец 12–14; алюминий 5–7; железный порошок 63,8–65,8; титан 1,2–2,2; криолит 4–7; борный ангидрид 4–6; ванадат стронция 3–5. Обеспечивается коэффициент заполнения проволоки 32 % при применении ленты марки 08КП сечением $0,5 \times 15$ мм. Рекомендуются многослойная плазменная наплавка с аксиальной подачей порошковой проволоки при обратной полярности обеих дуг на следующем режиме: ток плазменной дуги – 105 А; напряжение плазменной дуги – 48 В; ток плавящегося электрода – 340 А; напряжение дуги плавящегося электрода – 26 В; расход аргона (плазмообразующего – 5,4 л/мин; защитного – 15 л/мин); скорость наплавки – 48 м/ч.

3. Исследования показали, что ванадат стронция при нагреве распадается с выделением оксида стронция и оксида ванадия. Оксид стронция имеет низкую работу выхода электрона и, попадая в шлак на наплавляемую деталь, снижает прикатодное падение напряжения (наплавка ведется на обратной полярности). Это приводит к уменьшению выделения энергии на изделии, что снижает глубину проплавленного основного металла. Оксид стронция имеет щелочной характер, легко вступает в реакцию с кислыми оксидами – серы и фосфора, образуя сульфаты и фосфаты, тем самым предотвращается кипение ванны при выделении газообразных серного и фосфатного ангидридов, что ведет к снижению потерь на разбрызгивание. Образующийся при распаде ванадата стронция оксид ванадия служит окислителем, окисляя серу и фосфор, восстанавливается до ванадия, который легирует наплавленный металл. При содержании ванадата стронция менее 3 % – его влияние оказывается недостаточным, при содержании ванадата стронция более 5 % – увеличивается количество шлака, снижается производительность наплавки.

4. Установлено, что криолит является источником ионов натрия в дуге, чем повышает подвижность дуги, способствует снижению глубины проплавления основного металла. Криолит способствует связыванию водорода, так как содержит в своем составе фтор. Криолит также является шлакообразующим компонентом, который повышает активность шлака, способствует переводу тугоплавких оксидов в оксифториды. Криолит реагирует при нагреве с борным ангидридом. Продуктом реакции является оксид алюминия, растворяющийся во фтористом натрии криолита и вследствие чего не вызывает образование неметаллических включений в наплавленном металле. Фтористый бор представляет собой газ, который в инертной атмосфере является сильным активатором процесса смачивания твердого металла жидким, что способствует ликвидации наплывов и несплавлений с основным металлом. При содержании криолита менее 4 % – его влияние недостаточно, а при его содержании более 7 % – дальнейшего улучшения свойств порошковой проволоки не происходит.

5. Исследования показали, что борный ангидрид также способствует смачиванию основного металла жидким. Реакция борного ангидрида с криолитом сопровождается выделением тепла, что также способствует нагреву сердечника порошковой проволоки и повышает коэффициент наплавки. Фтористый бор активно удаляет оксиды с поверхности частиц, что способствует уменьшению возникновения шлаковых включений в наплавленном металле. При содержании борного ангидрида менее 4 % – в наплавленном металле есть неметаллические включения, при содержании борного ангидрида более 6 % – увеличиваются потери на угар и разбрызгивание.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением* / Под ред. Б. Е. Патона. – М. : Машиностроение, 1984. – 767 с.
2. Чигарев В. В. Улучшение формирования наплавленного слоя при плазма-МИГ наплавке / В. В. Чигарев, К. А. Кондрашов, Н. А. Макаренко // *Вісник Приазов. держ. техн. ун-ту : зб. наук. праць*. – Мариуполь, 2000. – Вып. 9. – С. 153–155.
3. *Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением* / под ред. Б. Е. Патона. – М. : Машиностроение, 1974. – 768 с.
4. *Физико-химические свойства окислов [справочник]* / Под ред. Г. В. Самсонова. – М. : Металлургия, 1978. – 472 с.
5. Данилов А. И. Плазменная наплавка постоянным током обратной полярности / А. И. Данилов. – Л. : ЛДНТП, 1981. – 20 с.
6. Способ высококачественной наплавки «мягкой» плазменной дугой обратной полярности / Симонта Хисаси Сусуму, Хираку Сейката, Укои Дзюн // *Есецу гидзюцу*. – *Welding Technologie*, 1978. – 26. – № 4. – С. 63–69.
7. Астахин В. И. Плазматрон для сварки и наплавки алюминия / В. И. Астахин // *Сварочное производство*. – 1978. – № 2. – С. 53–54.