

ПОРОШКОВАЯ ПРОВОЛОКА ДЛЯ ИЗНОСОСТОЙКОЙ НАПЛАВКИ ТОНКОЛИСТОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ

А. А. БАБИНЕЦ, И. А. РЯБЦЕВ

ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины. 03680, г. Киев-150, ул. Казимира Малевича, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

Электродуговая наплавка износостойких слоев на листовые конструкции толщиной меньше 4 мм сопряжена с опасностью возникновения прожогов и излишней деформации листов вследствие их значительного проплавления. Одним из возможных путей уменьшения проплавления является выбор оптимального способа наплавки и разработка соответствующих технологий и наплавочных материалов. Экспериментальным путем установлено, что обеспечить минимальное проплавление с учетом качественного формирования наплавленного металла возможно при наплавке открытой дугой порошковой проволокой диаметром менее 1,6 мм. Применение разработанной технологии и техники наплавки и усовершенствованной самозащитной порошковой проволоки ПП-АН198 обеспечило качественное формирование наплавленного металла, отсутствие прожогов, пор и других дефектов, а также позволило свести к минимуму остаточные деформации при наплавке листов из стали Ст3 толщиной 3 мм. Полученные результаты могут быть использованы при выборе наплавочных материалов и технологий наплавки износостойких слоев на тонколистовые конструкции, которые эксплуатируются в горнодобывающей и металлургической промышленности в условиях различных видов абразивного изнашивания. Библиогр. 8, табл. 1, рис. 3.

Ключевые слова: дуговая наплавка, порошковая проволока, тонколистовые конструкции, проплавление, деформации, наплавленный металл

Порошковые проволоки, вследствие своей универсальности, нашли широкое применение для механизированной и автоматизированной дуговой наплавки в различных отраслях промышленности. В первую очередь это объясняется достаточно простой адаптацией их химического состава к составу и свойствам наплавляемых деталей, высокой стабильностью горения дуги, относительно небольшим разбрызгиванием электродного металла и хорошим формированием наплавленных слоев [1–6].

Одним из перспективных направлений применения порошковых проволок является их использование для наплавки тонколистовых конструкций (толщина листов ≤ 4 мм), эксплуатирующихся в горнодобывающей и металлургической промышленности в условиях различных видов абразивного изнашивания.

Основные проблемы при наплавке тонколистовых конструкций заключаются в возможном появлении прожогов и значительных деформаций таких конструкций. Для решения этих проблем было предложено использовать наплавочные порошковые проволоки небольшого диаметра (1,2...1,6 мм) и минимально возможные режимы наплавки, при которых будет обеспечиваться стабильный процесс и качественное формирование наплавленных слоев [7].

Для проведения экспериментов в качестве прототипа была взята разработанная в ИЭС им. Е. О. Патона порошковая проволока ПП-АН198 системы легирования Fe–C–Cr–Mn–Si.

Таким образом, целью данной работы была оптимизация состава шихты порошковой проволоки ПП-АН198 для получения требуемого состава наплавленного металла при минимальном диаметре проволоки и разработка техники и технологии наплавки, обеспечивающих хорошее формирование наплавленного слоя и отсутствие в нем дефектов типа прожогов, пор и так далее.

Известно, что способ наплавки (под флюсом, в среде защитных газов или открытой дугой) оказывает значительное влияние на величину проплавления и качество формирования наплавленного металла даже при наплавке на одинаковых режимах и использовании проволоки одной и той же марки и диаметра [8].

Исходя из этого, в первую очередь, было необходимо установить при каком способе наплавки можно получить минимальное проплавление основного металла при качественном формировании наплавленных валиков. Для проведения экспериментов было изготовлено шесть опытных партий порошковой проволоки ПП-АН198 диаметрами 1,6 и 1,8 мм для наплавки под флюсом, в защитном газе и открытой дугой. В предварительной серии экспериментов наплавка выполнялась на пластины из стали Ст3 в широком диапазоне режимов по току (150...300 А) и напряжению (20...28 В) при постоянной скорости наплавки 30 м/ч.

На рис. 1 приведены экспериментальные данные глубины проплавления основного металла для проволок диаметром 1,6 мм (сплошные линии) и диаметром 1,8 мм (штриховые линии) при наплавке тремя разными способами: под флюсом

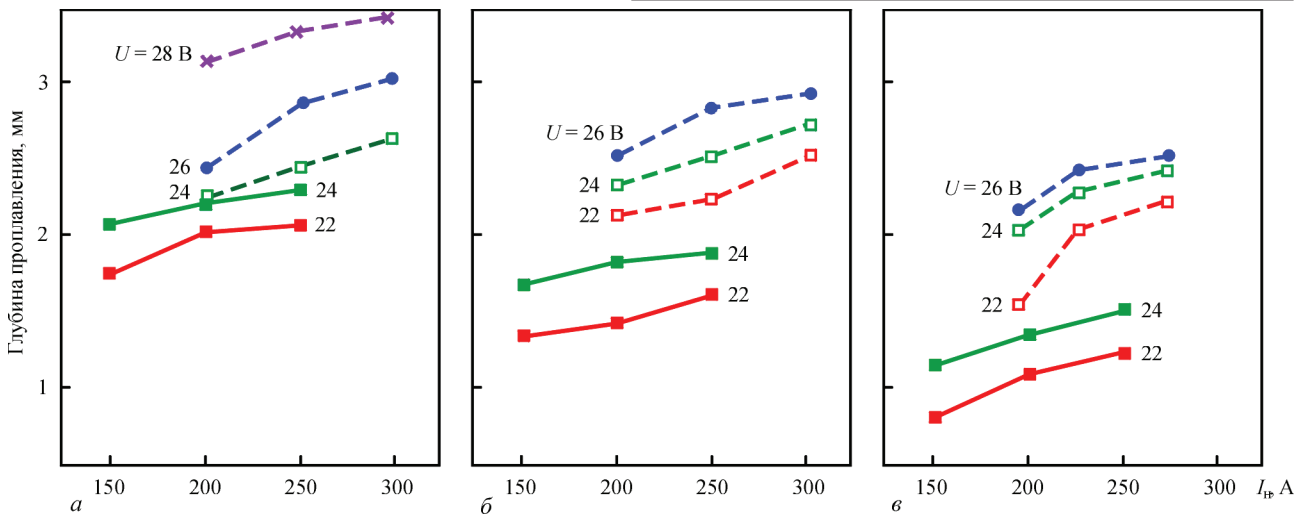


Рис. 1. Влияние тока на глубину проплавления при наплавке под флюсом (а), в защитных газах (б) и открытой дугой (в) (сплошные линии — проволока диаметром 1,6 мм; штриховые линии — проволока диаметром 1,8 мм)

(а), в среде защитных газов (б) и открытой дугой (в). Из рис. 1 видно, что с увеличением тока и напряжения также возрастает и глубина проплавления основного металла. При этом обеспечить минимальное проплавление, с учетом качественного формирования наплавленного металла, возможно при наплавке открытой дугой порошковой проволокой диаметром 1,6 мм. Исходя из полученных результатов, было решено продолжить работу именно с этим типом порошковой проволоки.

Для обеспечения надежной защиты сварочной ванны и получения качественного наплавленного металла при наплавке на минимально возможных режимах было необходимо произвести выбор газослакообразующей системы порошковой проволоки.

Для этой цели изготовили четыре опытных варианта самозащитных порошковых проволок ПП-АН198 диаметром 1,6 мм с различными системами газослакообразующих компонентов: $\text{CaO}+\text{TiO}_2+\text{MgO}+\text{CaF}_2+\text{Al}_2\text{O}_3$ (проволока с условным обозначением ПП-Оп-1); $\text{CaO}+\text{MgO}+\text{CaF}_2+\text{Al}_2\text{O}_3$ (ПП-Оп-2); $\text{CaO}+\text{CaF}_2+\text{Al}_2\text{O}_3$ (ПП-Оп-3) и $\text{CaO}+\text{CaF}_2+\text{Al}_2\text{O}_3+\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5$ (ПП-Оп-4).

В процессе наплавки указанными проволоками проводилась экспертная оценка сварочно-технологических свойств самозащитных порошковых проволок всех четырех типов (характер переноса

са металла, величина разбрызгивания, покрытие шлаком наплавленных валиков и так далее). Для этого использовалась следующая система оценок. Перенос характеризовался баллами: 1 — мелкокапельный; 2 — крупнокапельный; 3 — смешанный; разбрызгивание также оценивалось в баллах: 1 — малое; 2 — среднее; 3 — значительное; степень покрытия шлаком оценивалась в процентах; наличие пор характеризовалось двумя показателями: есть или нет; формирование наплавленного металла оценивали как хорошее, удовлетворительное или плохое.

Для оценки сварочно-технологических свойств выполняли наплавку образцов на одинаковом токе 160...180 А и скорости наплавки 30 м/ч. Так как решающее влияние на образование пор и качество формирования наплавленных валиков при наплавке порошковыми проволоками открытой дугой оказывает напряжение [4], то его изменяли от 20 В и выше до появления пор в наплавленном металле или до ухудшения качества формирования для каждого типа порошковой проволоки (таблица).

По результатам экспериментов было установлено, что из четырех порошковых проволок наилучшим комплексом сварочно-технологических свойств обладает самозащитная порошковая проволока ПП-АН198 (Оп-1), которая и применялась в дальнейшем для наплавки тонких листов.

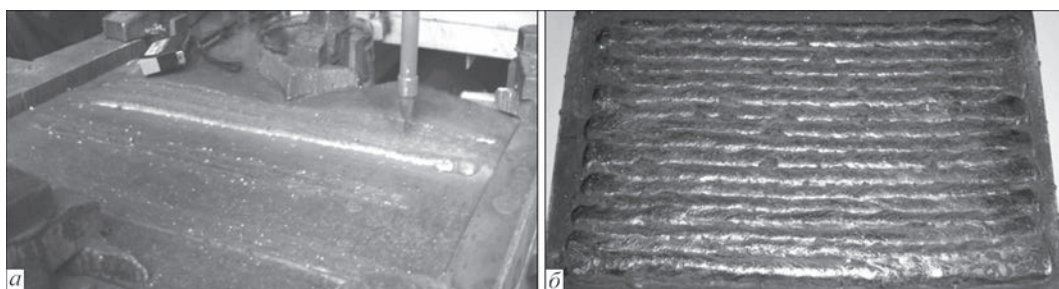


Рис. 2. Процесс наплавки стальной пластины толщиной 3 мм, закрепленной на водоохлаждаемом медном столе (а) и внешний вид наплавленной пластины (б)

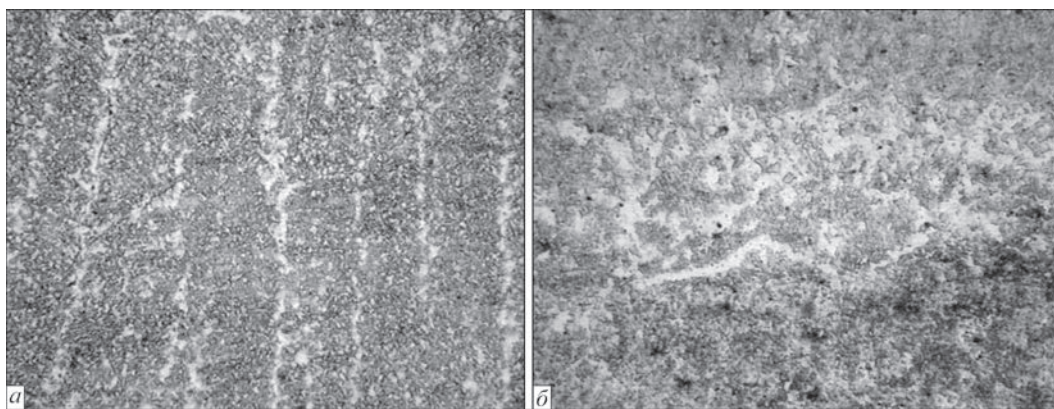


Рис. 3. Микроструктура ($\times 250$) металла, наплавленного самозащитной порошковой проволокой ПП-АН198 (а) и зоны его сплавления со сталью Ст3 (б)

Результаты оценки сварочно-технологических свойств опытных самозащитных порошковых проволок типа ПП-АН198

Условное обозначение проволоки	Напряжение, В	Вид переноса, баллы	Разбрызгивание, баллы	Покрытие шлаком, %	Поры	Качество формирования
ПП-АН198 (Оп-1)	20	2	1	100	нет	хорошее
	22	3	2	100	нет	хорошее
	24	3	2	100	есть	удовлетворительное
ПП-АН198 (Оп-2)	20	3	1	100	нет	удовлетворительное
	22	3	2	80	есть	плохое
ПП-АН198 (Оп-3)	20	3	1	100	нет	хорошее
	22	3	2	100	нет	удовлетворительное
	24	3	3	80	есть	удовлетворительное
ПП-АН198 (Оп-4)	20	2	1	90	нет	хорошее
	22	3	2	90	нет	удовлетворительное
	24	3	3	90	есть	плохое

Как указано выше, одна из основных проблем при наплавке листов толщиной < 4 мм заключается в возможности образования прожогов. Вероятность этого увеличивается в процессе наплавки вследствие роста температуры наплавляемого листа и его деформации, что приводит к увеличению зазора между листом и поверхностью наплавочного стола. Так как в работе использовались листы относительно небольшого размера ($3 \times 400 \times 600$ мм), для снижения их температуры и деформации применялось приспособление с охлаждаемым медным столом, на котором листы закреплялись при помощи прижимных планок (рис. 2, а).

Для проведения экспериментов по отработке технологии дуговой наплавки листов из стали Ст3 толщиной 3 мм была изготовлена порошковая проволока ПП-АН198 (Оп-1) диаметром 1,6 мм. При изготовлении порошковой проволоки в качестве оболочки использовалась лента из стали 08кп производства меткомбината «Запорожсталь». Лента имеет относительно невысокие показатели относительного удлинения ($\approx 25\%$), поэтому изготовить проволоку меньшего диаметра не удалось. Опыт показывает, что при использовании ленты импортного производства, у которой относительное удлинение находится на уровне 40 % можно

изготовить наплавочную порошковую проволоку диаметром 1,2...1,4 мм.

Наплавку листов из стали Ст3 толщиной 3 мм порошковой проволокой ПП-АН198 (Оп-1) диаметром 1,6 мм выполняли на следующих режимах: ток 160...180 А, напряжение 21...22 В; скорость наплавки 30 м/ч; перекрытие соседних валиков 50 %. На рис. 2, б приведен внешний вид листа, наплавленного по указанной технологии. Визуальным контролем было установлено, что на поверхности наплавленного листа прожоги, поры, трещины и другие дефекты отсутствуют.

Были проведены металлографические исследования образцов наплавленного металла и зоны его сплавления с основным металлом. Было установлено, что микроструктура верхнего слоя металла, наплавленного проволокой ПП-АН198, состоит из феррита, сосредоточенного по границам кристаллитов, и мартенситно-сорбитной смеси с небольшим количеством карбидов хрома, расположенных в теле кристаллитов (рис. 3, а). Ферритные оторочки по границам кристаллитов имеют ширину 10...20 мкм. Ширина кристаллитов составляет 40...75 мкм. Твердость верхнего наплавленного слоя $HV1 - 2970...3090$ МПа.

В структуре наплавленного металла вблизи границы сплавления с основным металлом ко-

личество ферритной составляющей несколько больше, чем возле поверхности, соответственно, его твердость ниже $HV1 - 1930 \dots 1980$ МПа. Вдоль линии сплавления основного металла с наплавленным образуется прерывистая ферритная полоска (рис. 3, б). Таким образом, металлографические исследования также подтвердили получение качественного соединения и отсутствие дефектов как в наплавленном металле, так и в зоне сплавления.

Выводы

1. Установлено, что для электродуговой наплавки тонколистовых конструкций ($\delta \leq 4$ мм) необходимо использовать самозащитные порошковые проволоки диаметром $\leq 1,6$ мм и минимальные режимы наплавки, обеспечивающие отсутствие прожогов и хорошее формирование наплавленных валиков.

2. Изготовлено приспособление и разработана техника и технология наплавки стальных листов толщиной 3 мм самозащитной порошковой проволокой ПП-АН198 диаметром 1,6 мм усовершенствованного состава. Применение данных технологий и наплавочных материалов позволяет получить тонкие биметаллические листы, в которых отсутствуют прожоги, поры и другие дефекты, а также сведены к минимуму остаточные деформации.

1. Походня И. К. Сварка порошковой проволокой / И. К. Походня, А. М. Суптель, В. Н. Шлепаков. – К.: Наукова думка, 1972. – 223 с.
2. Металлургия дуговой сварки, взаимодействие металла с газами / И. К. Походня, И. Р. Явдошин, А. П. Пальцевич [и др.]. – К.: Наукова думка, 1994. – 444 с.
3. Исследования и разработки ИЭС им. Е. О. Патона в области электродуговой сварки и наплавки порошковой проволокой (Обзор) / И. К. Походня, В. Н. Шлепаков, С. Ю. Максимов [и др.] // Автоматическая сварка. – 2010. – № 12. – С. 34-42.
4. Юзвенко Ю. А. Наплавка порошковой проволокой / Ю. А. Юзвенко, Г. А. Кирилук. – М.: Машиностроение, 1973. – 45 с.

5. Рябцев И. А. Наплавка деталей машин и механизмов / И. А. Рябцев. – К.: Екотехнологія, 2004. – 160 с.
6. Кондратьев И. А. Порошковые проволоки для наплавки стальных валков горячей прокатки / И. А. Кондратьев, И. А. Рябцев // Автоматическая сварка. – 2014. – № 6-7. – С. 99-100.
7. Влияние электрических параметров дуговой наплавки порошковой проволокой на стабильность процесса и проплавление основного металла / Ю. Н. Ланкин, И. А. Рябцев, В. Г. Соловьев [и др.] // Автоматическая сварка. – 2014. – № 9. – С. 27-32.
8. Влияние способов дуговой наплавки порошковой проволокой на проплавление основного металла и формирование наплавленного металла / А. А. Бабинец, И. А. Рябцев, А. И. Панфилов [и др.] // Автоматическая сварка. – 2016. – № 11. – С. 20-25.

А. А. Бабинец, І. О. Рябцев

ІЕЗ ім. Є. О. Патона НАН України.
03680, м. Київ-150, вул. Казимира Малевича, 11.
E-mail: office@paton.kiev.ua

ПОРОШКОВИЙ ДРІТ ДЛЯ ЗНОСОСТІЙКОГО НАПЛАВЛЕННЯ ТОНКОЛИСТОВИХ КОНСТРУКЦІЙ

Електродугове наплавлення зносостійких шарів на листові конструкції товщиною менше 4 мм пов'язане з небезпекою виникнення пропалів та зайвої деформації листів внаслідок їх значного проплавлення. Одним з можливих шляхів зменшення проплавлення є вибір оптимального способу наплавлення і розробка відповідних технологій та наплавних матеріалів. Експериментальним шляхом встановлено, що забезпечити мінімальне проплавлення з урахуванням якісного формування наплавленого металу можливо при наплавленні відкритою дугою порошковим дротом діаметром менше ніж 1,6 мм. Застосування розробленої технології і техніки наплавлення та вдосконаленого самозахисного порошкового дроту ПП-АН198 забезпечило якісне формування наплавленого металу, відсутність пропалів, пор та інших дефектів, а також дозволило звести до мінімуму залишкові деформації при наплавленні листів із сталі Ст3 товщиною 3 мм. Отримані результати можуть бути використані в процесі вибору наплавлювальних матеріалів і технологій наплавлення зносостійких шарів на тонколистові конструкції, що експлуатуються в гірничодобувній та металургійній промисловості в умовах різних видів абразивного зношування. Бібліогр. 8, табл. 1, мал. 3.

Ключові слова: дугове наплавлення, порошковий дріт, тонколистові конструкції, проплавлення, деформації, наплавлений метал

Поступила в редакцію 23.11.2016



ЗАКАЖИТЕ ИНФОРМАЦИОННЫЙ БЮЛЛЕТЕНЬ!
Уважаемые коллеги!

Приглашаем Вас подписаться на бесплатное получение электронного информационного бюллетеня журнала «Автоматическая сварка».

Для подписки необходимо выслать по электронной почте письмо с темой «Информационный бюллетень/АС» на адрес редакции журнала: journal@paton.kiev.ua.