

ПЛАЗМЕННО-ПОРОШКОВАЯ НАПЛАВКА НИКЕЛЕВЫХ И КОБАЛЬТОВЫХ СПЛАВОВ НА МЕДЬ И ЕЕ СПЛАВЫ

Е.Ф. ПЕРЕПЛЕТЧИКОВ

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

В статье приведены результаты исследования свойств никелевых и кобальтовых сплавов, наплавленных на медь или ее сплавы. Исследования коррозионной стойкости этих сплавов при различных видах коррозии (сплошная, контактная, щелевая, кавитационно-эрозионное разрушение), а также их антифрикционных свойств и прочности сцепления с основным металлом показали, что наиболее приемлемыми по сочетанию свойств являются сплавы НХ16СР2 и КХ-30Н6ВСР. Разработана технология автоматической плазменно-порошковой наплавки этих сплавов на алюминиевую бронзу Бр.АЖНМц9-4-4-1, обеспечивающая качественное соединение наплавленного и основного металла. Технология и оборудование нашли применение при наплавке деталей судовой трубопроводной арматуры. Библиогр. 4, табл. 1, рис. 6.

Ключевые слова: плазменно-порошковая наплавка, наплавка на медь, технология наплавки, сплавы на основе кобальта и никеля, коррозия, антифрикционные свойства

Наплавка сплавов на основе Со или Ni на медь и ее сплавы представляет собой весьма сложную техническую задачу, т.к. соединяемые материалы сильно отличаются по теплофизическим, механическим и эксплуатационным свойствам. Так, температура плавления указанных сплавов на 300...350 °С выше температуры плавления меди и ее сплавов. Это делает проблематичной саму возможность наплавки с приемлемой для практических целей глубиной проплавления основного металла. Кроме того, в процессе кристаллизации металла сварочной ванны между уже затвердевшим наплавленным металлом и твердым основным металлом может оставаться прослойка жидкой меди (медного сплава), что может привести к расслоению наплавленного и основного металлов.

Серьезные проблемы возникают при наплавке также из-за высокой теплопроводности меди и ее сплавов: в начале наплавки, когда деталь холодная, существует большая опасность появления несплавлений; в конце наплавки (особенно при небольших размерах детали) недопустимо увеличивается глубина проплавления основного металла. Для борьбы с этими дефектами необходимо изменять параметры режима в процессе наплавки. При этом эффективная тепловая мощность дуги должна регулироваться независимо от скорости подачи присадочного материала.

Железо и кобальт обладают ограниченной растворимостью в меди, а последняя, в свою очередь, ограничено растворима в железе и кобальте. Поэтому при наплавке кобальтовых и железных сплавов на медь и медные сплавы существуют проблемы металлургического характера.

Как показали предварительные исследования, решить эти проблемы можно при использовании плазменно-порошковой наплавки, для которой характерны [1]:

- незначительное проплавление основного металла;
- меньшие, по сравнению с дуговой наплавкой, температура металла сварочной ванны и время контактирования жидкого металла с твердым на границе сплавления;
- возможность отдельного управления нагревом основного металла и подачей присадочного порошка, что позволяет учитывать изменение условий отвода тепла от сварочной ванны на разных стадиях процесса наплавки;
- возможность вести наплавку на прямой и обратной полярностях при полной автоматизации процесса наплавки;
- экономное расходование наплавочных материалов;
- малые припуски на механическую обработку наплавленных деталей.

Материалы и методы исследований. Для исследований в качестве наплавочных материалов были выбраны порошки сплавов на основе никеля ПР-НХ16СР2, ПР-НХ25С5Р и кобальта ПР-КХ30Н6ВСР. Плазменно-порошковую наплавку образцов выполняли на серийном наплавочном оборудовании, укомплектованном плазмотроном с распределенным боковым вводом порошка в дугу, что обеспечивает наиболее широкие возможности для управления нагревом присадочного материала [1]. Все указанные порошки изготавливали распылением жидкого металла азотом в промышленных условиях. Фракция порошков 63...100 мкм. В качестве основного металла была выбрана алю-

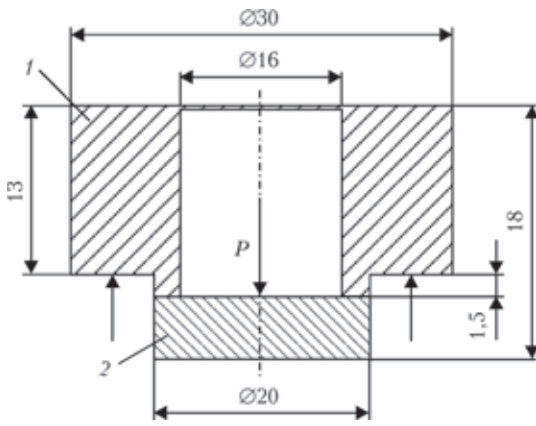


Рис. 1. Образец для испытания на отрыв наплавленного слоя: 1 — основной металл; 2 — наплавленный металл

миниевая бронза Бр. АЖНМц9-4-4-1. Наплавку проводили в один слой без предварительного подогрева; после наплавки образцы охлаждали на воздухе.

По условиям эксплуатации деталей трубопроводной арматуры, работающей в контакте с морской водой, деталей химических установок и другого оборудования наплавленный металл должен обладать высокими антифрикционными свойствами, а также износо- и коррозионной стойкостью.

Исследовали коррозионную стойкость сплавов при различных видах коррозии (сплошная, контактная, щелевая, кавитационно-эрозионное разрушение), а также их антифрикционные свойства и прочность сцепления с основным металлом.

Испытания на сплошную и контактную коррозию и на кавитационно-эрозионное разрушение проводили в синтетической морской воде при 20 °С в течение 2000 ч. При испытании исследуемых сплавов на контактную коррозию соотношение площадей наплавленного металла и бронзы составляло 1:1. В процессе испытаний замерялись потенциалы контактирующей пары — наплавленного металла и бронзы.

Испытания на щелевую коррозию проводили в синтетической морской воде при температуре 75... 80 °С в течение 2000 ч. Образцы устанавливали в специальные ячейки, имеющие прорезы, с целью создания щелевого зазора между поверхностью образца и материалом ячейки.

Испытания на кавитационно-эрозионное разрушение проводили на шпиндельном аппарате

со скоростью вращения образцов 12 м/с. После окончания коррозионных испытаний образцы травились в растворе щавелево-кислого алюминия с целью полного удаления продуктов коррозии, промывались, высушивались и взвешивались, затем определялась скорость коррозии каждого материала.

Исследование антифрикционных свойств выполняли на стенде, имитирующем условия работы деталей затвора задвижек. Скорость возвратно-ступательного движения составляла 0,02 м/с, число циклов срабатывания — 2000 при ходе образцов в одну сторону на 10 мм. Удельное давление 400 МПа, смазка — вода. Осмотр образцов производился через каждые 5, 10, 20, 50, 100, 500 и далее через каждые 500 циклов двойных ходов с фиксированием состояния рабочих поверхностей. Определялись работоспособность пары и коэффициент трения.

Прочность соединения наплавленного металла с бронзой оценивалась при испытании образцов на отрыв (рис. 1). Скорость нагружения 6 мм/мин.

Результаты исследований. Скорость сплошной коррозии испытанных никелевых и кобальтовых сплавов в среде морской воды не превышает 0,003 г/м²·ч, что по десятибалльной шкале коррозионной стойкости относится к 1 баллу по ГОСТ 13819–68, а сам металл классифицируется как «весьма стойкий». При испытаниях на контактную коррозию во всех трех случаях потенциал наплавленного металла сдвигается в отрицательную сторону от стационарного значения и составляет 0,15 В. В щелевых зазорах поверхность исследуемых сплавов характеризуется незначительной коррозионной шероховатостью. Бронза в зоне сплавления в этих условиях подвергалась избирательной коррозии. Кавитационно-эрозионное разрушение у всех сплавов отсутствует.

При исследовании антифрикционных свойств наплавленного металла на испытанных образцах с наплавленным металлом типа НХ25С5Р выявлены задиры после 100 циклов двойных ходов (таблица).

Как видно из таблицы, наилучшие антифрикционные свойства имеют сплавы НХ16СР2 и КХ-30Н6ВСР. В частности, способность сплава НХ-16СР2 заполировываться в процессе испытаний

Антифрикционные свойства наплавленного металла и прочность сцепления его с бронзой

Марка порошка	Изменение коэффициентов страгивания/движения	Число циклов до задира	Прочность на отрыв, МПа*
ПР-НХ16СР2	0,218...0,253 0,168...0,177	2000	205...367 294
ПР-НХ25С5Р	0,168...0,486 0,134...0,454	100	202...298 261
ПР-КХ30Н6ВСР	0,219...0,436 0,185...0,404	2000	253...410 334

* В числителе приведены предельные, в знаменателе — средние значения по результатам испытаний 4 образцов.

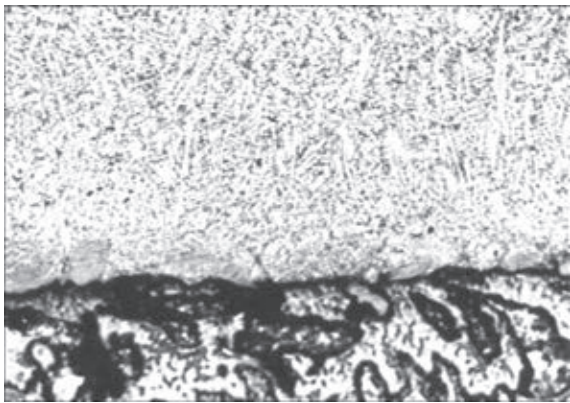


Рис. 2. Микроструктура ($\times 125$) зоны сплавления никелевого сплава HX16CP2 с бронзой

обуславливает наименьший коэффициент трения при сдвиге с места (страгивания) и при движении. Сплавы HX16CP2 и KX30H6BCP в полной мере отвечают требованиям, предъявляемым к деталям запорного узла трубопроводной арматуры.

Механические и эксплуатационные свойства биметаллических изделий во многом определяются свойствами границы сплавления. Как видно из таблицы, металл в зоне сплавления кобальтового и никелевых сплавов характеризуется удовлетворительной прочностью. Разрушение образцов, наплавленных кобальтовым сплавом KX30H6BCP, при испытаниях на отрыв происходит по основному металлу. Образцы, наплавленные никелевыми сплавами, разрушаются по наплавленному металлу.

Металлографическими исследованиями установлено, что при плазменно-порошковой наплавке никелевых и кобальтовых сплавов на алюминиевую бронзу трещины отсутствуют. Оптимальные режимы наплавки обеспечивают надежное сплавление металла наплавки с бронзой (рис. 2). В основном и наплавленном металлах вблизи зоны сплавления обеднения либо обогащения легирующими элементами не наблюдается. Типичное распределение некоторых элементов в зоне сплавления кобальтовых и никелевых сплавов с алюминиевой бронзой иллюстрируют рис. 3 и 4.

Структура основного металла вдоль границы сплавления практически не изменяется и является типичной для алюминиевой бронзы [2]. Она состоит из дендритов твердого раствора, эвтектоида и железистой составляющей. При наплавке кобальтового и никелевых сплавов на бронзу их структура несколько мельче, чем при наплавке на сталь. По-видимому, сказывается высокая теплопроводность основного металла, вызывающая более быстрое охлаждение наплавленного слоя.

Несмотря на различие теплофизических и механических свойств основного и присадочного материалов, плазменно-порошковая наплавка обеспечивает получение хорошо сформированного

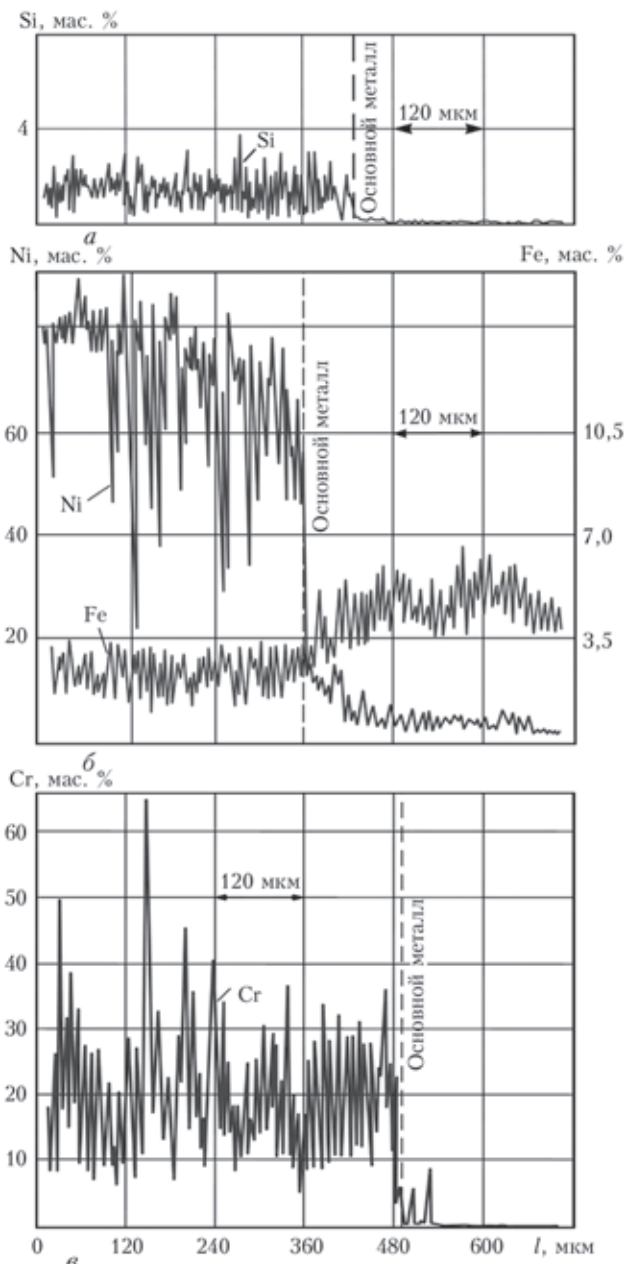


Рис. 3. Распределение легирующих элементов в зоне сплавления сплава HX16CP2 с бронзой Бр.АЖНМц9-4-4-1: а — кремний; б — железо и никель; в — хром

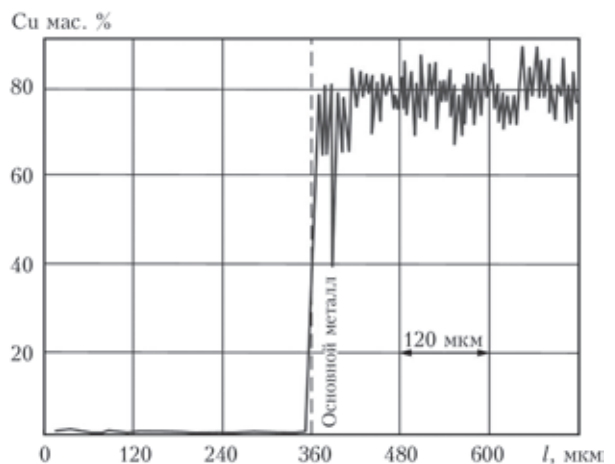


Рис. 4. Распределение меди в зоне сплавления сплава KX30H6BCP с бронзой Бр.АЖНМц9-4-4-1

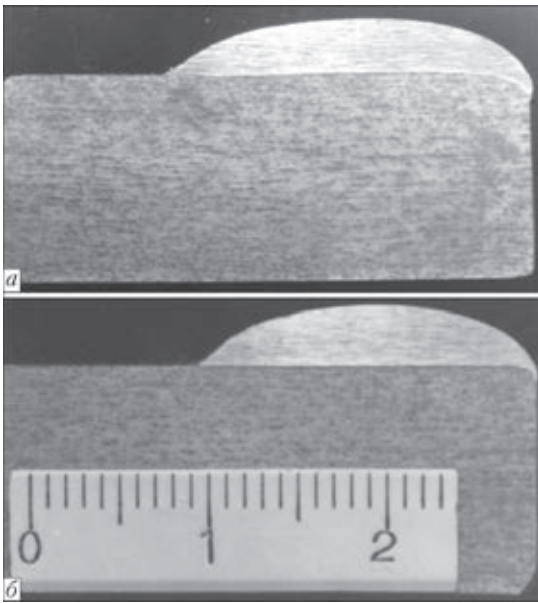


Рис. 5. Макрошлифы наплавленного валика: *а* — без регулирования тока; *б* — с регулированием тока по ширине наплавляемого слоя

наплавленного слоя при минимальном проплавлении основного металла.

Известно [1], что глубина проплавления основного металла уменьшается с уменьшением тока дуги и увеличением скорости наплавки, скорости подачи и фракции присадочного порошка. Кроме того, существенное влияние оказывает форма и размеры наплавляемого изделия, температура его предварительного подогрева. При наплавке с колебаниями плазмотрона обычно наблюдается неравномерность глубины проплавления по ширине валика, что связано с неодинаковой скоростью перемещения дуги по траектории колебания. Получение равномерного проплавления основного металла возможно путем регулирования тока дуги по траектории колебания (рис. 5). Достижение таких технических характеристик процесса возможно только при использовании компьютеризированного оборудования. Такое оборудование обеспечивает изменение эффективных значений тока и напряжения дуги, скорости перемещения плазмотрона, частоты его колебаний, скорости подачи порошка и управление в реальном масштабе времени этими параметрами. Изменение параметров по длине наплавляемого валика задается временной циклограммой.

До недавнего времени на предприятиях для плазменно-порошковой наплавки использовались универсальные ОБ 2184 и специализированные УП-142 установки [3]. Специализированные установки снабжались системой управления, обеспечивающей автоматический цикл наплавки.

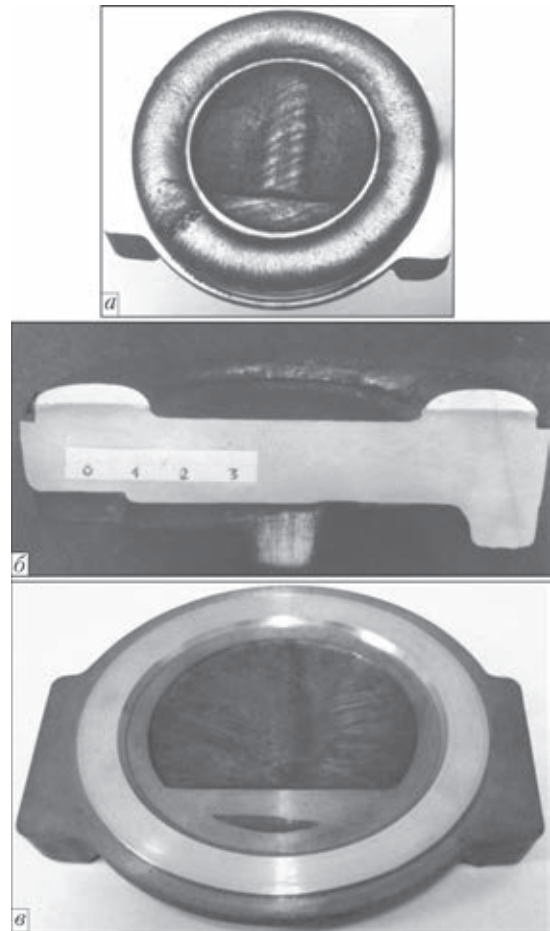


Рис. 6. Диск из бронзы Бр.АЖНМц9-4-4-1 после плазменно-порошковой наплавки сплавом КХ30Н6ВСП (*а*), макрошлиф этого диска (*б*) и диск после механической обработки (*в*)

На основании опыта эксплуатации такого оборудования в ИЭС им. Е.О. Патона разработана новая система управления, позволяющая полностью автоматизировать процесс наплавки и при этом оптимизировать ток наплавки и скорость подачи порошка [4]. С помощью этой системы отработаны технологические алгоритмы наплавки и наплавлены диски из бронзы Бр.АЖНМц9-4-4-1 (рис. 6). Внешний вид и макрошлиф деталей с наплавленным слоем указывают на хорошее формирование валиков. Это позволяет сократить трудоемкость механической обработки за счет уменьшения припусков и получать экономию дорогостоящего присадочного материала.

1. Гладкий П.В., Переpletчиков Е.Ф., Рябцев И.А. Плазменная наплавка. — Киев: ЭкоТехнология, 2007. — 292 с.
2. Мальцев М.В. Металлография промышленных цветных металлов и сплавов. — М.: Металлургия, 1970. — 368 с.
3. Переpletчиков Е.Ф. Плазменная наплавка // Сварщик. — 2000. — № 2. — С. 8–11.
4. Модернизация системы управления процессом плазменно-порошковой наплавки установки А-1756 / Е.Ф. Переpletчиков, И.А. Рябцев, Ю.Н. Ланкин и др. // Автомат. сварка. — 2014. — № 12. — С. 46–49.

Поступила в редакцию 14.04.2015