

ПЛАЗМЕННО-ПОРОШКОВАЯ НАПЛАВКА ИЗНОСО- И КОРРОЗИОННОСТОЙКИХ СПЛАВОВ В АРМАТУРОСТРОЕНИИ

Е. Ф. ПЕРЕПЛЕТЧИКОВ, канд. техн. наук (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Приведены результаты исследований сплавов, применяемых в арматуростроении для наплавки деталей затвора. Рассмотрены некоторые особенности плазменно-порошковой наплавки. Показано, что при использовании плазменно-порошковой наплавки достигается наилучшая работоспособность уплотнительных поверхностей.

Ключевые слова: плазменно-порошковая наплавка, коррозионностойкие сплавы, арматура, уплотнительная поверхность, структура, твердость, проплавление

Опыт эксплуатации показывает, что запорная трубопроводная арматура различного назначения выходит из строя преимущественно из-за повреждений уплотнительных поверхностей. На них могут возникать задиры, трещины, эрозионные и коррозионные разрушения [1], в результате чего нарушается герметичность затвора.

Надежным способом обеспечения высокой работоспособности уплотнительных поверхностей является наплавка специальными сплавами. При их выборе важное значение имеют условия эксплуатации арматуры. Металл, наплавленный на уплотнительные поверхности, должен быть стоек против задиров при его трении скольжения по металлу в различных рабочих средах при удельном давлении до 150 МПа. У наплавленного металла должна быть минимальная склонность к образованию трещин при теплосменах с перепадом температур до 200...300 °С. Твердость при рабочих температурах должна быть достаточно высокой (не менее $HV\ 300$). По сопротивлению эрозии и коррозии наплавленный металл не должен уступать нержавеющей стали типа 18-8. Должна быть обеспечена стабильность структуры и свойств при длительной эксплуатации, а также хорошая обрабатываемость и технологичность. Лишь немногие износостойкие сплавы отвечают всем этим требованиям. Наиболее приемлемыми для наплавки уплотнительных поверхностей арматуры являются сплавы на основе кобальта, легированные хромом и вольфрамом. Для некоторых видов арматуры используются также сплавы на основе никеля, легированные хромом, кремнием и бором.

Кобальтхромвольфрамовые сплавы-стеллиты. Эти сплавы разработаны Э. Хайнесом (США) в 1907–1908 гг. и впервые описаны им в 1913 г. Известно более 60 марок стеллитов. Они отличаются высокой стойкостью против эрозии, коррозии, сохраняют высокую твердость до температуры 650 °С и хорошо сопротивляются износу [2–5].

Структура наплавленного металла, в котором массовая доля хрома составляет обычно 30 %, в

основном зависит от содержания углерода и вольфрама. Для наплавки деталей арматуры применяются доэвтектические кобальтхромвольфрамовые сплавы, структура которых состоит из твердого раствора и карбидной эвтектики, содержащей карбиды типа M_7C_3 и $M_{23}C_6$. При старении (5000 ч, 700 °С) происходит частичный распад карбидов M_7C_3 и в твердом растворе выделяется дисперсный карбид $M_{23}C_6$, что приводит к повышению твердости.

Для наплавки наиболее широко используются сплавы следующего содержания, мас. %: 1,0...1,6 С; 1,5...2,5 Si; 28,0...32,0 Cr; 4,0...8,0 W; $\leq 3,0$ Fe; основа Со. Твердость наплавленного металла составляет $HV\ 400...480$. Более твердые сплавы с повышенным содержанием углерода и вольфрама склонны к образованию трещин при резких теплосменах. Сплавы удовлетворительно обрабатываются резанием и шлифованием. Ввиду большой склонности кобальтхромвольфрамовых сплавов к горячим трещинам необходим предварительный подогрев наплаваемой детали до температуры 600...750 °С, которую следует поддерживать при наплавке, а наплавленные детали отжигать при температуре 800...850 °С в течение 2–3 ч и медленно охлаждать. Эти особенности, а также высокая цена кобальта повышают себестоимость наплавленных деталей. К недостаткам кобальтхромвольфрамовых сплавов следует отнести не очень высокое сопротивление задирам [3], что вынуждает ограничивать эксплуатационное удельное давление арматуры. Кроме того, нежелательно использовать сплавы, содержащие кобальт, в зоне радиации, поскольку он образует долгоживущий радиоактивный изотоп ^{60}Co .

Для плазменной наплавки деталей арматуры в ИЭС им. Е. О. Патона создан сплав системы Со–Cr–W–С, дополнительно легированный бором, при введении которого образуется легкоплавкая боридная эвтектика, способная залечивать горячие трещины. Ее положительное влияние известно из опыта сварки жаропрочных аустенитных сталей и сплавов. Легирование стеллитов бором снижает температуру их плавления, облегчает получение присадочных порошков и улучшает формирование наплавленного металла. Бор также эффективно повышает твердость наплавленного металла при



температурах до 550...600 °С (рис. 1) и стойкость против задира. Испытания на жаростойкость в воздухе при температуре 800 °С в течение 1000 ч и в водяном паре (700 °С, 0,1 МПа, 500 ч) не выявили существенной разницы в характере окисления стеллитов с бором (до 2,6 мас. %) и без него. В дистиллированной воде (300 °С, 20 МПа, 1000 ч) сплавы без бора и с бором (2,6 мас. %) имеют скорость коррозии соответственно 0,0038 и 0,0028 г/(м²·ч).

Исследования влияния бора на стойкость сплава стеллит 6 против образования трещин показали, что содержание бора в наплавленном металле не должно превышать 1,2...1,5 мас. %. Для наплавки уплотнительных поверхностей арматуры рекомендуется порошок ПН-АН34 (ПрКХ30В5Н6СР) следующего состава, мас. %: 0,7...1,0 С; 1,5...2,5 Si; 28...32 Cr; 4...5 W; 4...8 Ni; 0,5...0,9 В; ≤ 3 Fe; основа Со. Твердость наплавленного металла составляет HRC 44...48. Этот порошок позволяет проводить наплавку деталей арматуры диаметром до 150 мм без предварительного подогрева. Для деталей больших размеров достаточен подогрев, не превышающий 500 °С.

Никелевые сплавы с хромом, кремнием, бором. В настоящее время разработано около 90 сплавов этого типа. Часть из них известна под торговой маркой «Колмоной». Эти сплавы появились в 1950-х годах и получили распространение как самофлюсующиеся припой и как присадочный материал для газовой наплавки, а также для газопламенной металлизации с последующим оплавлением. Наплавленный металл этого типа хорошо сопротивляется износу, сохраняет высокую твердость до температуры 600 °С, стоек против коррозии во многих агрессивных средах [6, 7]. К числу других преимуществ Ni-Cr-Si-B-сплавов относятся довольно низкая температура плавления (1050...1150 °С), умеренная стоимость по сравнению с кобальтхромвольфрамовыми сплавами, а также возможность значительного снижения температуры подогрева при наплавке. Эти сплавы успешно применяются для наплавки некоторых видов арматуры [1, 6].

Структура сплава, не содержащего углерод, состоит из твердого раствора, боридной эвтектики с микротвердостью HV 415...445 и боридов Ni₃B,

CrB и Cr₅B₃. С повышением концентрации углерода количество эвтектики увеличивается, а при содержании углерода более 1 мас. % появляются гексагональные первичные карбиды M₇C₃. Углерод входит также в состав карбоборидов. В структуре сплавов наблюдаются гексагональные кристаллы с микротвердостью HV 1040...1385, H-образные карбобориды с микротвердостью HV 1775...2340, а также кристаллы неправильной формы с микротвердостью HV 2700...3800.

Весь хром входит в состав твердого раствора на основе никеля. При увеличении концентрации хрома в сплаве появляются бориды хрома CrB. При этом хром и бор вступают в реакцию в таком соотношении, что состав твердого раствора практически остается постоянным (16...18 мас. % Cr). Кремний почти полностью находится в твердом растворе и не образует самостоятельных фаз. Он увеличивает активность хрома в твердом растворе, что способствует образованию карбидов и боридов хрома. Практически весь бор находится в сплавах в виде боридов. Железо в основном входит в твердый раствор. По мере увеличения его содержания количество эвтектики уменьшается, что свидетельствует о повышении растворимости углерода и бора в таком растворе.

Самофлюсование сплавов системы Ni-Cr-Si-B особенно ценно при наплавке деталей с подогревом, когда наплаваемая поверхность покрыта оксидной пленкой. Борный ангидрид и кремнезем, вступая в реакцию с оксидами металла подложки, растворяют их и тем самым создаются условия для хорошего смачивания наплавленной поверхности. Кроме того, бор и кремний способствуют отличному формированию наплавленного слоя. Однако сплавы на основе никеля, содержащие (мас. %) 0,35...0,70 С; 2,5...3,5 Si; 10,0...14,0 Cr; 2,0 В, по стойкости против коррозии в водяном паре с температурой выше 500 °С уступают кобальтовым стеллитам.

Установлено, что стойкость сплавов системы Ni-Cr-Si-B в водяном паре существенно зависит от химического состава и определяется характером боридов в структуре сплава. При низком содержании хрома (менее 14 мас. %) в сплаве образуется

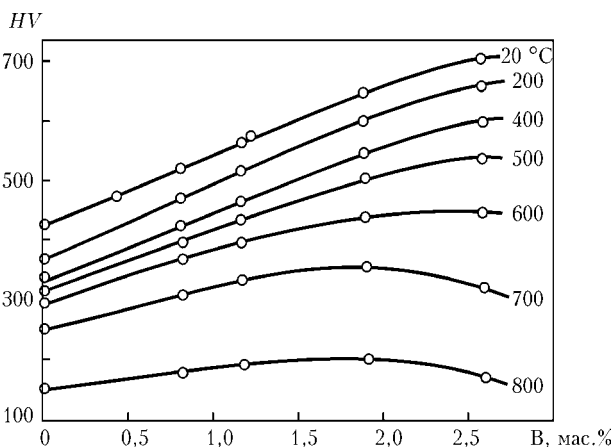


Рис. 1. Зависимость твердости наплавленного стеллита от содержания бора при различной температуре испытаний

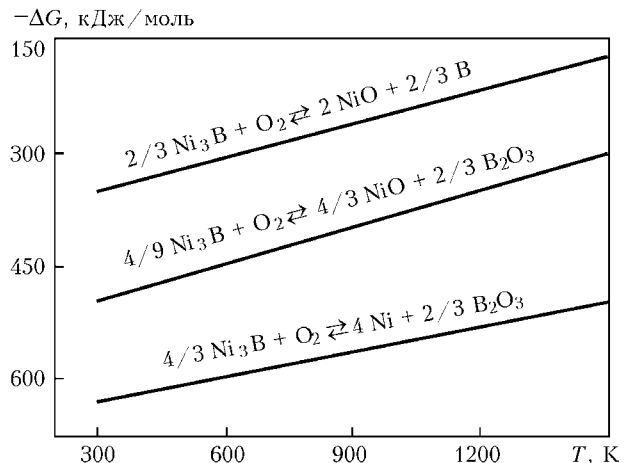


Рис. 2. Зависимость изобарного потенциала реакций окисления бориды никеля от температуры

борид никеля Ni₃B. Как показывают расчеты энергии Гиббса возможных реакций окисления Ni₃B, по данным Омори и Хасимото [8], наиболее вероятна реакция с образованием Ni и B₂O₃ (рис. 2). Температура плавления B₂O₃ составляет 468 °С. В присутствии водяного пара он образует хорошо растворимую и летучую ортоборную кислоту H₃BO₂. В результате происходит разрыхление оксидной пленки, что приводит к ускорению коррозии.

Исследование деталей паровых задвижек, уплотнительные поверхности которых наплавлены сплавами типа ПГ-СРЗ, после эксплуатации в водяном паре при температуре 545 °С и давлении 25,5 МПа в течение 7000...31216 ч показало, что средняя скорость коррозии металла составляет 0,06 мм/год, а образующаяся оксидная пленка имеет рыхлую слоистую структуру.

Иначе ведет себя сплав с повышенным содержанием хрома (более 18 мас. %), в котором образуется борид хрома CrB. При его окислении получается боратное стекло Cr₂O₃-B₂O₃, тугоплавкое и стойкое по отношению к воде. С увеличением содержания хрома возрастает его концентрация и в твердом растворе, что также существенно повышает жаростойкость сплава. В результате выполненных исследований разработан сплав Н68Х21С5Р на никелевой основе следующего состава, мас. %: 0,35...0,50 С; 4,0...5,0 Si; 20,0...22,0 Cr; 1,0...1,3 В; 4,0...7,0 Fe; остальное Ni. Сплав имеет малую склонность к задирам, хорошую термическую выносливость и высокую стойкость против коррозии [9].

Наплавку тарелок, седел и других деталей аппаратуры с хорошим доступом к наплавляемой поверхности наиболее целесообразно выполнять плазменно-порошковым способом [1, 5, 10]. Благодаря механизации процесса плазменно-порошковая наплавка обеспечивает более высокое и стабильное качество наплавленного металла по сравнению с ручной ацетилено-кислородной и электродуговой наплавкой. Преимуществами этого способа являются значительное увеличение производительности, экономия наплавочных материалов и улучшение условий труда, снижаются затраты на последую-

щую механическую обработку. Для достижения максимальной производительности процесса и экономии наплавочных материалов следует стремиться к однослойной наплавке. При этом доля основного металла должна быть минимальной, если содержание железа в наплавленном металле строго ограничено, как это имеет место, например, при наплавке сплавов системы Co-Cr-W.

Производительность электродуговой наплавки, измеряемая количеством металла, наплавленного в единицу времени при заданных технологических условиях, однозначно определяется значением тока. С повышением тока производительность возрастает, но одновременно увеличивается и доля основного металла в наплавленном слое. На практике это приводит к необходимости либо ограничения тока, либо перехода к многослойной наплавке. В обоих случаях время наплавки изделия увеличивается. Плавящийся электрод расплавляется преимущественно за счет тепла, выделяющегося в активном пятне дуги. В сварочную ванну электродный металл поступает в виде капель, перегретых значительно выше температуры плавления. Например, для электродной проволоки или стержня из низкоуглеродистой стали температура капель составляет 2300 °С, она повышается до температуры кипения железа с увеличением сварочного тока.

При плазменной наплавке частицы присадочного порошка в виде зерен попадают в столб дуги холодными и нагреваются там за счет теплообмена с плазмой. Температура частиц в момент соприкосновения с поверхностью сварочной ванны или изделия зависит от их размера и формы, теплофизических свойств металла, длительности пребывания их в плазме, а также параметров последней (температуры, скорости и теплопроводности). В зависимости от перечисленных факторов зерна порошка могут попадать в сварочную ванну как в твердом, так и расплавленном виде. Если среднemasсовая температура порошка будет ниже средней температуры металла сварочной ванны, то с увеличением его подачи проплавление основного металла уменьшается.

Основываясь на представлениях теории тепловых процессов сварки Н. Н. Рыкалина, можно показать, что доля основного металла в наплавленном слое будет малой (≤ 5 %), если соотношение между эффективной тепловой мощностью дуги q , количеством присадочного порошка $G_{пр}$, поступающего в сварочную ванну, и его теплосодержанием $S_{пр}$ удовлетворяет условию

$$G_{пр} = k \frac{q \eta_t}{S_{пл.пр} - S_{пр}(1 + \eta_t)}$$

где η_t — термический КПД процесса проплавления дугой без порошка; $S_{пл.пр}$ — теплосодержание присадочного металла при температуре плавления, включая скрытую теплоту плавления; k — поправочный коэффициент, учитывающий от-

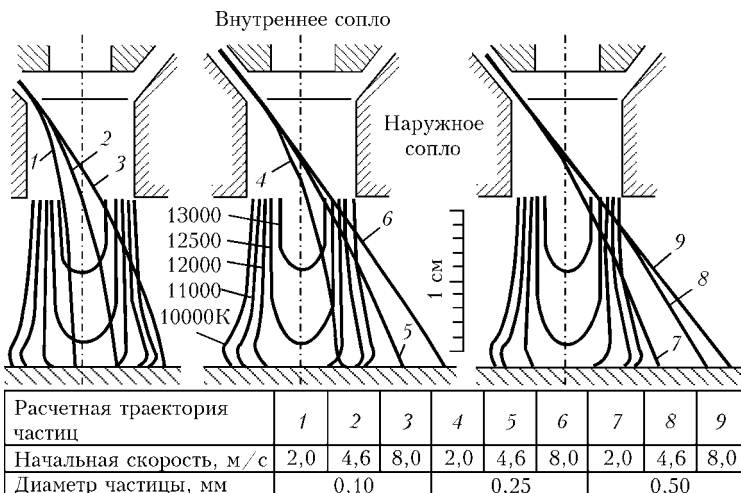


Рис. 3. Траектории полета частиц порошка в плазменной дуге

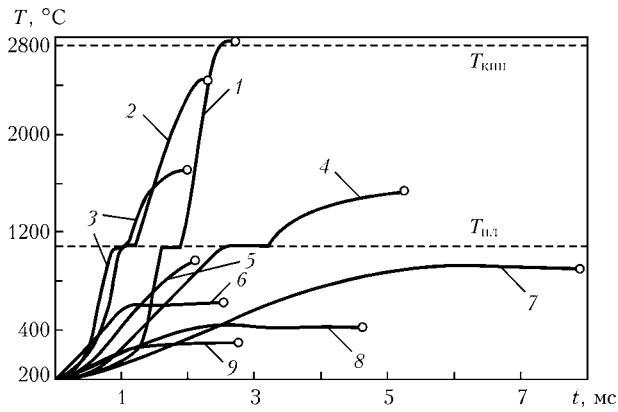


Рис. 4. Нагрев порошка сплава Ni-Cr-Si-B в плазменной дуге: 1-9 — см. рис. 3; кружками обозначен момент соприкосновения частицы с наплавляемой поверхностью

клонение расчетной схемы от реальных условий ($k = 1,2...1,5$).

Из уравнения следует, что при сохранении малого проплавления основного металла производительность плазменной наплавки можно повышать либо путем увеличения мощности дуги q , либо увеличения эффективности нагрева порошка в дуге. Порошок нагревается в дуге преимущественно в результате конвективного теплообмена, интенсивность которого зависит от многих факторов: параметров плазмы, формы и размера частиц и пр. Продолжительность нагрева обусловлена траекторией и скоростью полета частиц, а также размерами столба дуги.

На рис. 3 показаны поле температур плазмы и расчетные траектории полета частиц порошка различного диаметра: 0,10, 0,25 и 0,50 мм при плотности материала частиц $8,1 \text{ г/см}^3$. Режим работы плазматрона следующий: ток косвенной дуги 80 А; ток дуги прямого действия 150 А; расход плазмообразующего газа (аргона) 2 л/мин; расход транспортирующего газа (аргона) 9 л/мин; осевая скорость потоков плазмы на выходе из сопла 160 м/с. Частицы малого диаметра в дуге легко ускоряются, траектории их полета искривляются и проходят через высокотемпературную зону дуги. Крупные частицы под действием потока плазмы мало изменяют скорость и траекторию полета. Время нахождения их в дуге прежде всего зависит от угла ввода порошка в дугу и начальной скорости.

При указанном выше режиме работы плазматрона температура частиц в зависимости от значения и начальной скорости в момент соприкосновения с наплавляемой поверхностью согласно расчетам

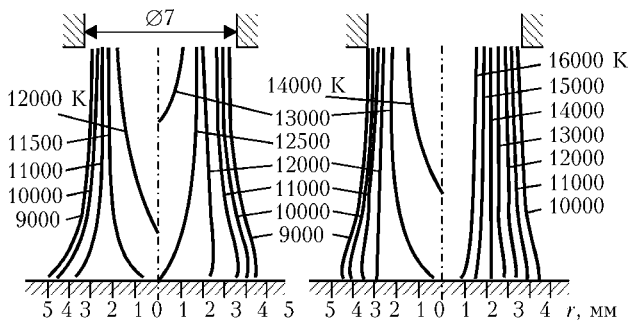


Рис. 5. Поле температур в столбе аргоновой плазменной дуги при различном значении тока

составляет от 300... 500 °С до температуры кипения сплава (рис. 4). Повышение температуры плазмы интенсифицирует нагрев порошка. Согласно спектроскопическим измерениям в той области, где происходит нагрев порошка, температура плазмы в основном определяется током дуги прямого действия (рис. 5). Следовательно, с увеличением тока этой дуги возрастает не только нагрев изделия, но и эффективность нагрева порошка. Благодаря этому производительность плазменно-порошковой наплавки с увеличением тока быстро растет.

Связь между током, долей основного металла в наплавленном слое и производительностью применительно к наплавке сплавов системы Ni-Cr-Si-B на низколегированную сталь приведена на рис. 6, а. Аналогичные данные получены и при наплавке сплавов системы Co-Cr-W на аустенитную хромоникелевую сталь (рис. 6, б) [11]. С повышением производительности диапазон токов, обеспечивающих допустимое проплавление основного металла, расширяется (рис. 7). Подогрев основного металла, необходимый для предупреждения горячих трещин в наплавленном металле при плазменной наплавке, не является препятствием для получения малого проплавления (рис. 8). Это обстоятельство особенно важно при наплавке сплавов системы Co-Cr-W, поскольку допустимое содержание железа в наплавленном слое жестко ограничено во избежание резкого ухудшения его свойств.

При плазменной наплавке большое значение имеет качество присадочного порошка, который должен иметь хорошую текучесть, требуемый гра-

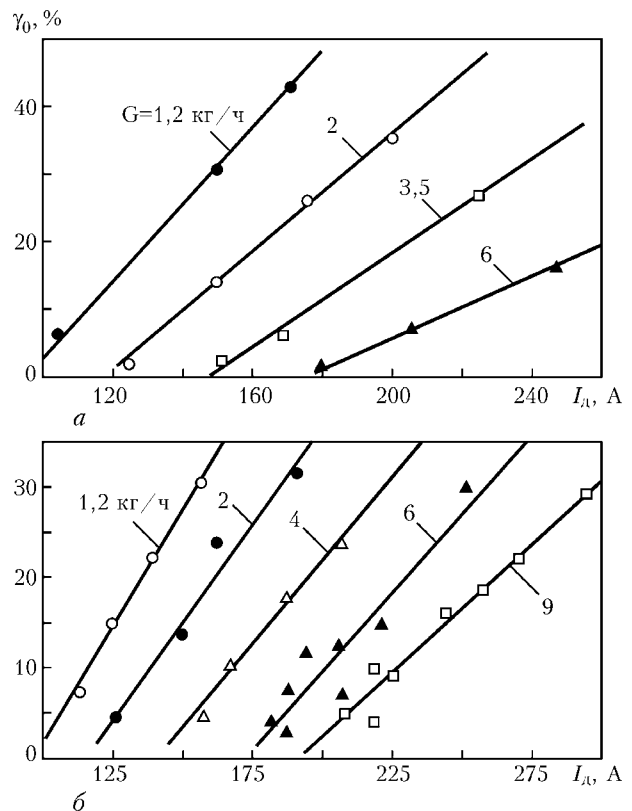


Рис. 6. Зависимость доли основного металла γ_0 в наплавленном слое от тока дуги I_d при различной производительности наплавки порошками сплавов Ni-Cr-Si-B (а) и Co-Cr-W (б)

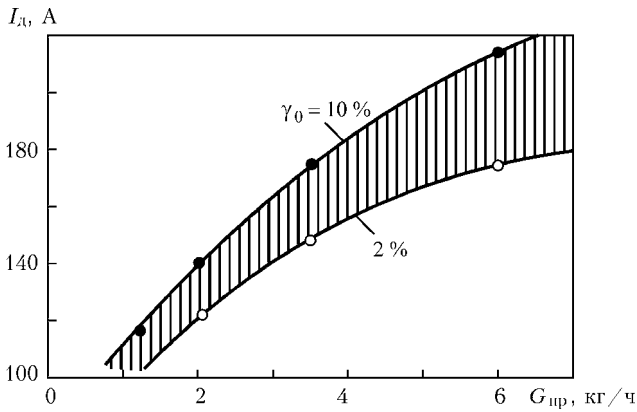


Рис. 7. Диапазон токов, в котором доля основного металла в наплавленном металле составляет 2... 10 мас. % (наплавка сплавов системы Ni-Cr-Si-B на низкоуглеродистую сталь)

нулометрический состав и малую насыщенность газами. Оптимальной для порошков при плазменной наплавке является сферическая или близкая к ней форма частиц, обеспечивающая максимальную текучесть порошка. Для плазменной наплавки применяются порошки преимущественно с диаметром частиц $d = 80... 200$ мкм. Использование более крупного порошка ведет к увеличению потерь и ухудшению качества наплавленного слоя. Слишком мелкий порошок плавится внутри плазмотрона, что приводит к перекрытию его сопел и нарушению процесса наплавки.

Присадочные порошки содержат газы, растворенные в металле, связанные в химические соединения (оксиды), абсорбированные на поверхности или заключенные внутри полых частиц. Повышенное содержание газа, особенно кислорода, в порошке вызывает разбрызгивание металла при наплавке, появление в наплавленном слое пор и неметаллических включений, образование шлака на поверхности валика. Исследованиями установлено, что в предназначенных для плазменной наплавки порошках сплавов системы Ni-Cr-Si-B содержание кислорода не должно превышать 0,10...0,12 мас. %, а в порошках сплавов системы Co-Cr-W — 0,006...0,080 мас. %. Этим требованиям лучше всего

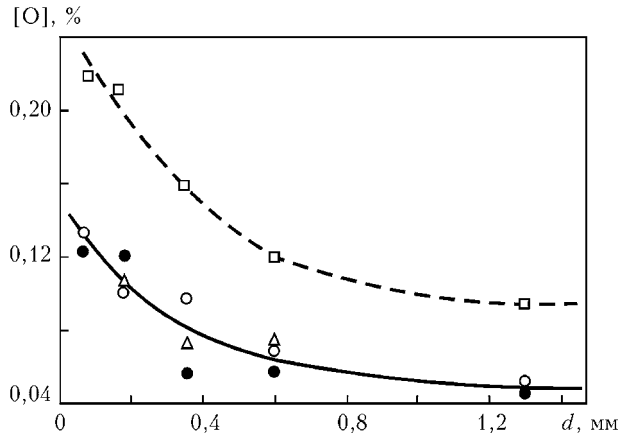


Рис. 9. Содержание кислорода в частицах порошка сплава Ni-Cr-Si-B, полученного распылением азотом (O), аргоном (Δ), водой (●) (сплошная кривая) и воздухом (штрихпунктирная)

отвечают порошки, получаемые распылением жидкого металла инертными газами (рис. 9).

Плазменная наплавка выполняется плазмотроном комбинированного типа (рис. 10). Нагрев порошка и изделия осуществляется плазменной дугой прямого действия. Косвенная дуга выполняет вспомогательные функции. Присадочный порошок подается газом по гибкой трубке из питателя в плазмотрон и через кольцевую щель между стабилизирующим и фокусирующим соплами вдувается в дугу. В плазмотрон поступает три потока рабочего газа: центральный поток плазмообразующего газа, который защищает вольфрамовый электрод от окисления, стабилизирует и сжимает дугу (расход газа 1,5...2,0 л/мин); транспортирующий поток, подающий присадочный порошок (расход 4...6 л/мин); защитный поток (расход 8...12 л/мин). Рабочий газ — аргон.

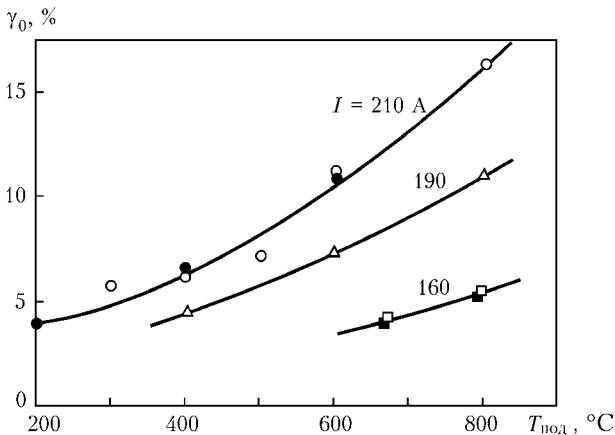


Рис. 8. Зависимость доли основного металла γ_0 от температуры предварительного подогрева $T_{под}$ при различном токе (наплавка сплава системы Co-Cr-W на сталь X18H10T, производительность 6 кг/ч)

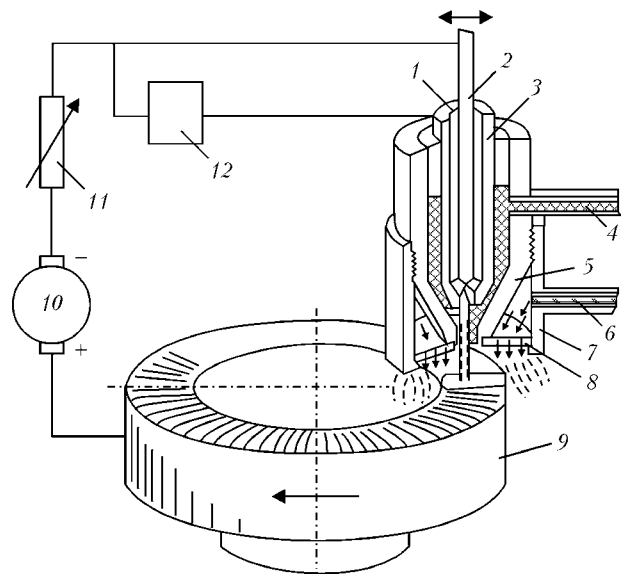


Рис. 10. Схема плазмотрона комбинированного типа: 1 — ввод плазмообразующего газа; 2 — вольфрамовый электрод; 3 — стабилизирующее сопло; 4 — ввод транспортирующего газа с присадочным порошком; 5 — фокусирующее сопло; 6 — ввод защитного газа; 7 — защитное сопло; 8 — газовая линза; 9 — наплавляемая деталь; 10 — источник питания дуги; 11 — сопротивление; 12 — устройство поджига дуги

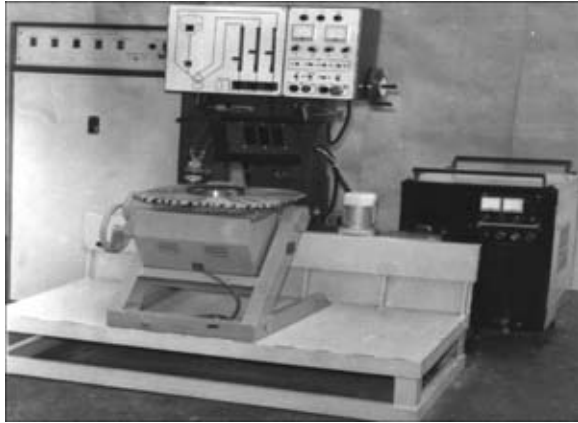


Рис. 11. Универсальная установка ОБ2184 для плазменно-порошковой наплавки

Технологические возможности плазменной наплавки с присадкой порошков очень широки. Минимальная толщина слоя при плазменной наплавке составляет 1 мм, максимальная — 5...6 мм (однослойный валик). Для получения широких валиков плазматрону сообщают поперечные колебания (ширина валика до 60 мм).

Для механизированной плазменной наплавки деталей арматуры в ИЭС им. Е. О. Патона разработано несколько типов установок. Универсальная установка ОБ2184 (рис. 11) предназначена для наплавки цилиндрических поверхностей диаметром до 400 мм и длиной до 800 мм, деталей плоской формы с размерами 800×500×400 мм. Возможна наплавка конических и фасонных деталей. В комплект установки входит аппарат А1756, который можно использовать автономно. Он легко монтируется на консоль, что позволяет



Рис. 12. Автоматическая установка УП142 для наплавки деталей арматуры

создать установку для наплавки деталей арматуры Ду 1000 мм и более.

Примером специализированной установки может служить автоматическая установка УП142 (рис. 12), предназначенная для серийной или массовой наплавки деталей типа дисков диаметром до 200 мм и высотой до 150 мм. Установка имеет микропроцессорное управление, необходимое для обеспечения автоматического цикла наплавки, и рабочую камеру, надежно защищающую оператора от светового и теплового излучения дуги, газа и пыли. Установка снабжена механизмом для автоматической выгрузки заготовок после наплавки в накопительный бункер. Она легко встраивается в линию с автоматической загрузкой и выгрузкой деталей при массовом производстве. Электрическая схема управления установкой предусматривает возможность наплавки в один и два слоя.

Таблица 1. Результаты измерений твердости наплавленного металла деталей задвиги Ду 150... 175 мм

Способ наплавки, присадочный материал	Количество измерений	Математическое ожидание твердости, HRC	Среднеквадратическое отклонение твердости, HRC	Коэффициент вариации, %
Ручная наплавка электродами ЦН-6М, три слоя	431	30,8	3,82	12,3
Ручная наплавка электродами ЦН-12М, три слоя	496	39,3	4,34	11,0
Наплавка проволокой под легирующим флюсом	351	29,8	2,30	7,80
Плазменная наплавка порошком ПР-Н73Х16С3Р3	417	48,6	1,28	2,62

Таблица 2. Характеристики надежности наплавленных деталей

Тип наплавленного металла	Интенсивность отказов, 1/тыс. ч	Средняя наработка до отказа, тыс. ч
180К62Х30В5С2 (электрод ЦН-2)	0,245	4,8
	0,099	10,1
Х16Н7Г4С4М5Б (электрод ЦН-12)	0,094	10,6
	0,049	20,8
Н73Х16С3Р3 (порошок)	0,0214	46,7
	0,00475	210,0

Примечание. В числителе указаны данные для тарелки, в знаменателе — седла.

Многолетний опыт свидетельствует, что плазменная наплавка обеспечивает высокое качество и однородность наплавленного металла уплотнительной поверхности арматуры (табл. 1).

Твердость измеряли в пяти точках, равномерно расположенных по ширине наплавки, через каждые 4...5°. Статистическую обработку полученных данных выполняли в предположении, что распределение твердости подчиняется нормальному закону. Неоднородность распределения твердости тем выше, чем больше коэффициент вариации, представляющий собой отношение среднеквадратического отклонения к среднему значению твердости. Ручная наплавка дает наименее однородный наплавленный металл. При однослойной наплавке под легирующим флюсом твер-

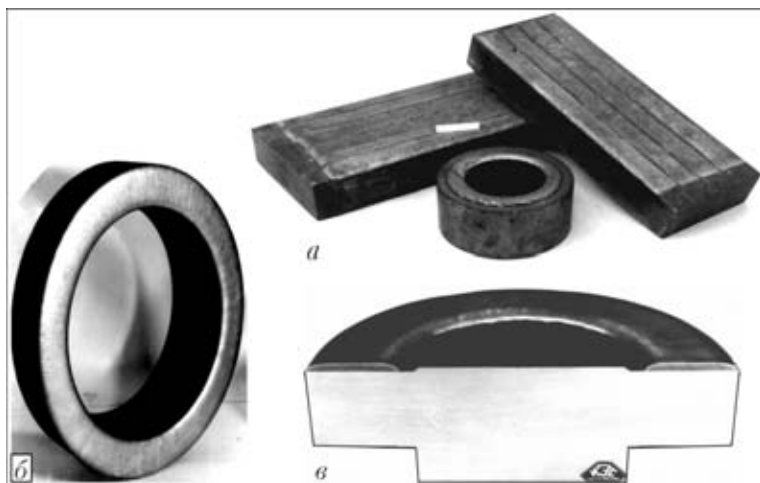


Рис. 13. Наплавленные детали фонтанной арматуры (а), наплавленное седло (б), макрошлиф наплавленной тарелки (в) задвижки Ду 150 мм энергетической арматуры

дость одинакова по ширине валика, но по периметру детали распределение очень неравномерное. Объясняется это разогревом детали в процессе наплавки и увеличением глубины проплавления основного металла, а также наличием участков замыкания, где наплавка выполняется, по существу, в два слоя. Кроме того, легирование наплавленного металла через флюс чувствительно к колебаниям режима наплавки, неизбежным в производственных условиях.

Эффективность применения различных сплавов для наплавки уплотнительных поверхностей энергетической арматуры может быть оценена наиболее объективно с помощью количественных критериев надежности. В связи с отсутствием ускоренных методов комплексных испытаний арматуры на надежность использован единственный источник информации о ее надежности — опыт эксплуатации. Данные табл. 2 характеризуют надежность наплавленных деталей арматуры. Они получены при обобщении опыта эксплуатации главных паровых задвижек блоков 300 МВт тепловых электростанций. Установлено, что детали задвижек Ду 150 мм, наплавленные электродом ЦН-2 и ЦН-12, имеют среднюю наработку до отказа (до появления трещин на уплотнительных поверхностях) 4,08...20,40 тыс. ч, что намного ниже расчетного ресурса работы основного энергетического оборудования. Наилучшую работоспособность уплотнительных поверхностей обеспечивает плазменная наплавка сплавами системы Ni-Cr-Si-B: средняя наработка до отказа составляет для тарелок 46,7, для седел — 210,0 тыс. ч.

Внешний вид и макрошлиф наплавленных деталей показаны на рис. 13.

Хорошее формирование валиков сокращает трудоемкость механической обработки за счет уменьшения припусков. Толщина наплавленного слоя обычно составляет 3,3...3,6 мм, после механической обработки $2^{+0,5}$ мм. При ручной и автоматической наплавке под флюсом толщина слоя 10...12 мм.

Results of investigations of alloys used in valve manufacturing for surfacing of stop valve components are given. Peculiarities of plasma-powder cladding are considered. It is shown that plasma-powder cladding provides the best performance of sealing surfaces.

Применение плазменно-порошковой наплавки в серийном производстве деталей энергетической, фонтанной и судовой арматуры [1, 8, 12] позволило повысить производительность в 2...3 раза, коренным образом улучшить качество наплавленного металла и значительно повысить работоспособность наплавленных деталей.

1. Гладкий П. В., Переpletчиков Е. Ф., Рабинович В. И. Плазменная наплавка в энергетическом арматуростроении. — М.: НИИИИформтяжмаш, 1970. — 36 с.
2. *Metals Handbook* ASM, 8-th Ed. // ASM Metals Park. — Vol 1. — 1961.
3. Hinzpeter H. Auftragen von Hartlegierungen im Armaturenbau // ZIS-Mitteilungen, 1968. — S. 6.
4. Переpletчиков Е. Ф., Гладкий П. В. Влияние состава кобальтхромвольфрамовых наплавочных сплавов на их свойства // Наплавленный металл. Состав, структура, свойства. — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 1992. — С. 19–23.
5. Переpletчиков Е. Ф. Плазменно-порошковая наплавка в судовом машиностроении // Автомат. сварка. — 2000. — № 12. — С. 31–35.
6. Knotek O., Lugscheider E., Eschmayer H. Hartlegierungen zum Verschleiss-Schutz. — Dusseldorf, 1975. — 285 s.
7. Калбертсон Р., Норден Вю, Рацек А. Вопросы металлургии и технологии твердой наплавки сплавами кобальта и никеля: Сб. тр. XII конгресса Междунар. ин-та сварки. — М.: Машгиз, 1961. — С. 202–215.
8. Omori Sh., Hashimoto V. Thermodynamic properties of Ni_3B and Ni_2V by E.M.F. measurements // J. of the Jap. Soc. of Powder and Powder Metallurgy. — 1973. — 20, № 3. — P. 80–83.
9. Переpletчиков Е. Ф., Гладкий П. В., Касаткин О. Г. Разработка жаростойкого сплава для наплавки уплотнительных поверхностей энергетической арматуры // Теоретические и технологические основы наплавки. Наплавочный металл. — Киев: Наук. думка, 1977. — С. 136–143.
10. Плазменная наплавка деталей энергетической арматуры / П. В. Гладкий, Е. Ф., Переpletчиков, В. И. Рабинович и др. // Свароч. пр-во. — 1970. — № 2. — С. 13–14.
11. Плазменная наплавка стеллита / И. И. Фрумин, Е. Ф. Переpletчиков, П. В. Гладкий и др. // Автомат. сварка. — 1974. — № 2. — С. 54–56.
12. Производство фонтанной арматуры для глубоких нефтяных и газовых скважин методами электрошлакового литья и плазменно-порошковой наплавки / В. Л. Шевцов, В. Я. Майданик, В. М. Ханенко и др. // Сварщик. — 2001. — № 4. — С. 8–9.

Поступила в редакцию 11.01.2004