

# Плазменно-порошковая наплавка деталей запорной арматуры различного назначения

**Е.Ф. Переплетчиков, И.А. Рябцев,**

кандидаты техн. наук, Институт электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины (Киев)

**В** энергетическом, нефтехимическом, судовом и общем машиностроении широко применяют наплавку деталей запорной арматуры. В зависимости от назначения и условий эксплуатации деталей арматуры выбирают наплавочные материалы на основе никеля, кобальта и железа. В больших объемах для этих целей использовали ручную и механизированную дуговую наплавку. Возрастающие требования к эксплуатационным характеристикам наплавленного металла, а также к качеству наплавленных деталей и технологиям их изготовления обусловили переход к новым материалам и способам наплавки, в частности, к плазменно-порошковой.

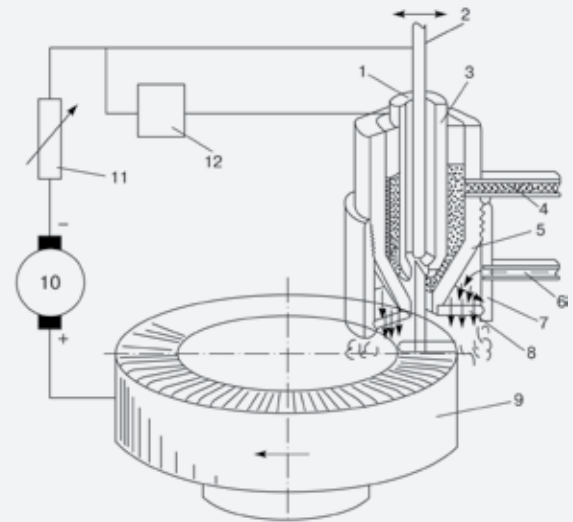
При выборе рационального способа наплавки деталей арматуры необходимо учитывать следующие факторы: дефицитность и цену наплавочных сплавов; требования к качеству наплавленного металла; допустимое содержание железа в наплавленном слое (при наплавке кобальтовых и никелевых сплавов); величину проплавления; производительность наплавки и др. С учетом этих обстоятельств определенные преимущества имеют способы наплавки, обеспечивающие минимальное проплавление основного металла и малую толщину наплавленного слоя (*табл. 1*).

По сравнению с другими способами плазменно-порошковая наплавка позволяет существенно повысить и стабилизировать качество наплавленных деталей, увеличить производительность и улучшить условия труда, сократить расход наплавочных материалов и затраты на механическую обработку наплавленных деталей. Как показывает производственный опыт, брак при плазменно-порошковой наплавке деталей арматуры не превышает

1%, а его появление напрямую связано с нарушениями технологического процесса.

Плазменную наплавку с присадкой гранулированного порошка выполняют, как правило, плазмотроном комбинированного типа (*рис. 1*). Порошок и наплавляемую деталь нагревают плазменной дугой прямого действия.

**Рис. 1. Схема плазменно-порошковой наплавки**



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.

**Таблица 1**

Технологическая характеристика способов наплавки, применяемых в арматуростроении						
Способ	Производительность, кг/ч	Доля основного металла, %	Толщина наплавленного слоя, мм	Сплавы для наплавки на основе		
				Co	Ni	Fe
Газовая с присадкой прутков	0,5-1,5	1-2	1-4	++	+	-
Газопорошковая	0,5-3	1-2	0,5-3	+	++	-
Аргонодуговая неплавящимся электродом	0,4-3,5	10-30	3-5	++	+	-
Ручная дуговая покрытыми электродами	1-3	20-50	4-6	+	+	++
Дуговая проволокой под флюсом	2,5-10	30-60	3-5	+	-	++
Дуговая плавящимся электродом в защитном газе	1,5-9	30-60	3-5	+	+	+
Дуговая электродной лентой	5-40	10-25	2,5-5	+	-	+
Плазменно-порошковая	0,5-6	5-10	1-6	++	++	+

*Примечание.* «++» – Применяют широко; «+» – Применяют ограниченно; «-» – Не применяют.

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 поступают три потока газа (аргона): плазмообразующий, который стабилизирует и сжимает дугу и защищает вольфрамовый электрод от окисления (расход газа 1,5-2,0 л/мин); транспортирующий, который подает присадочный порошок в плазмотрон и вдувает его в дугу (расход газа 4-6 л/мин); защитный (расход газа 8-12 л/мин). Для плазменной наплавки применяют гранулированные металлические порошки преимущественно с диаметром частиц 80...200 мкм. Слишком мелкий порошок (менее 80 мкм) плавится внутри плазмотрона, что приводит к забиванию его сопел и нарушению процесса наплавки. Использование порошка более крупных размеров (более 200 мкм) приводит к увеличению его потерь и ухудшению качества наплавленного слоя.

Многолетний опыт промышленного применения плазменно-порошковой наплавки показывает, что этот способ, по сравнению с другими, обеспечивает наиболее высокое качество и однородность наплавленного металла уплотнительных поверхностей деталей запорной арматуры (рис. 2а). Ручная дуговая наплавка покрытыми электродами дает менее однородный наплавленный металл

(рис. 2б, 2в). При однослойной дуговой наплавке проволокой под легирующим флюсом твердость практически одинакова по ширине валика, но по периметру детали распределение твердости очень неравномерно (рис. 2г). Объясняется это разогревом детали в процессе наплавки и увеличением глубины проплавления основного металла, а также наличием участков замыкания шва, где наплавка выполняется, по существу, в два слоя. Кроме того, легирование наплавленного металла через флюс чувствительно к колебаниям режима наплавки, неизбежным в производственных условиях.

Ниже даны примеры промышленного применения плазменно-порошковой наплавки деталей запорной арматуры различного назначения.

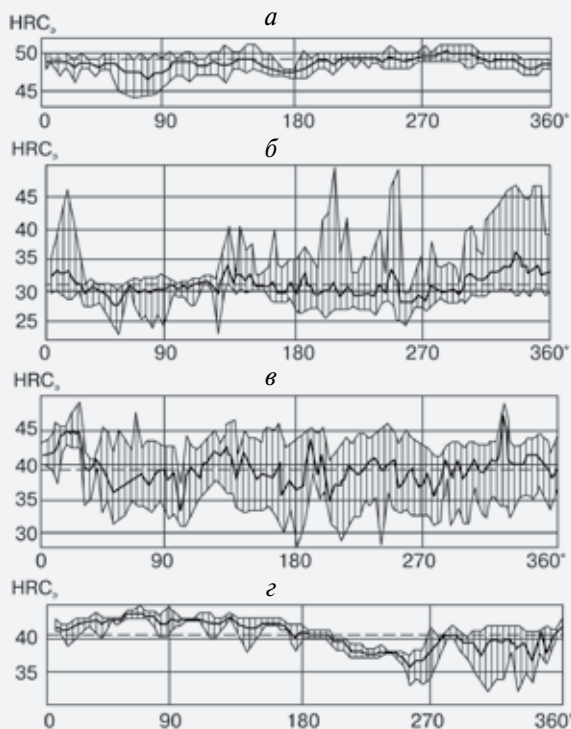
● **Арматура для судостроительной и химической промышленности.** Детали арматуры этого типа эксплуатируются в коррозионной среде различной интенсивности и в условиях трения металла по металлу с высокими удельными нагрузками. С учетом таких условий эксплуатации для наплавки деталей обычно используют сплавы на основе кобальта. Комплексные исследования и испытания наплавленных деталей, проведенные в ИЭС им. Е.О. Патона в сотрудничестве с отраслевыми организациями судостроительной промышленности, позволили оптимизировать состав наплавленного металла традиционной для кобальтовых стеллитов системы легирования кобальт-хром-вольфрам-углерод. Установлено, что металл, наплавленный плазменным способом, с концентрацией углерода 1,3-1,7% характеризует значительно большая высокая стойкость против образования трещин, чем металл, наплавленный вручную электродами ЦН-2.

В зависимости от назначения судовой арматуры в качестве основного металла наплаваемых деталей применяют цветные металлы, в частности бронзу (клинкетные задвижки).

При этом основная проблема при наплавке кобальтовых сплавов на медные сплавы заключается в том, что в зоне соединения таких разнородных материалов могут образовываться новые фазы и структурные составляющие, оказывающие существенное влияние на их свойства. Исследования зоны сплавления кобальтового сплава 90X30K55B5H7P и никелевых сплавов НХ15СР2, НХ25С5Р с бронзой Бр АЖНМц 9-4-4-1 показали, что технологические преимущества плазменно-порошковой наплавки обуславливают отсутствие кристаллизационной или диффузионной прослойки. Сварные соединения этих сплавов характеризуют удовлетворительная прочность и хорошая коррозионная стойкость.

При наплавке кобальтовых сплавов на стальную основу возможно появление трещин. Основным средством борьбы с трещинами является предварительный и сопутствующий подогревы наплаваемых заготовок. Для повышения трещиностойкости кобальтовых стеллитов в ИЭС им. Е.О. Патона было предложено дополнительно легировать их бором, при введении которого образуется легкоплавкая боридная эвтектика, способная залечивать

**Рис. 2. Распределение твердости наплавленного металла по периметру уплотнительной поверхности тарелок**

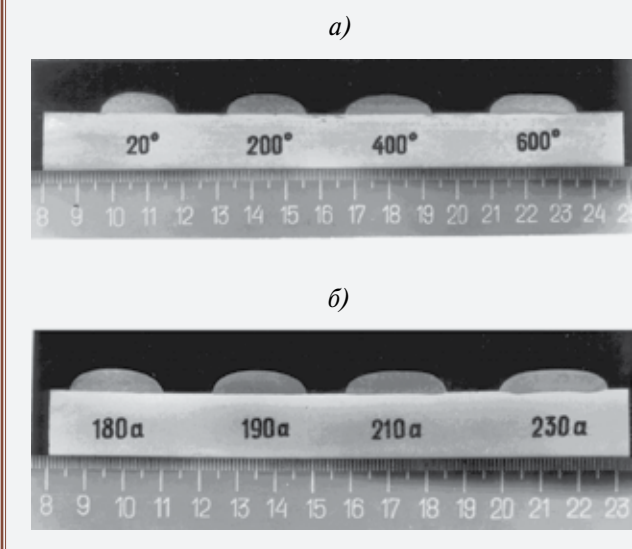


а — плазменная наплавка порошком Пр-Н77Х16С3Р3;  
 б — ручная дуговая наплавка электродами ЦН-6;  
 в — то же, электродами ЦН-12;  
 г — автоматическая дуговая наплавка проволокой Св-04Х19Н9С2 под флюсом ПКНЛ-17.

горячие трещины. Исследования показали, что лучшую стойкость против образования трещин имеют стеллиты, содержащие 0,5-0,9% бора. Легирование бором снижает температуру плавления кобальтовых стеллитов, обеспечивает получение более качественных присадочных порошков и улучшает формирование наплавленного металла. Испытания жаростойкости и коррозионной стойкости не выявили существенной разницы в характере окисления кобальтовых стеллитов с бором и без него. В результате исследований для наплавки уплотнительных поверхностей судовой и химической арматуры разработан порошок ПН-АН34 (ПР-КХ30Н6ВСП) на основе кобальта. Твердость металла, наплавленного этим порошком, составляет 44-48 HRC<sub>3</sub>.

Однако полностью отказаться от предварительного подогрева при наплавке кобальтовых сплавов не удастся. Следует заметить, что при предварительном подогреве увеличивается проплавление основного металла, что нежелательно (рис. 3а). Однако за счет выбора оптимального соотношения между подачей порошка и силой тока дуги удается обеспечить минимальное проплавление основного металла даже при предварительном подогреве до 600 °С (рис. 3б). Наряду с малым угаром легирующих

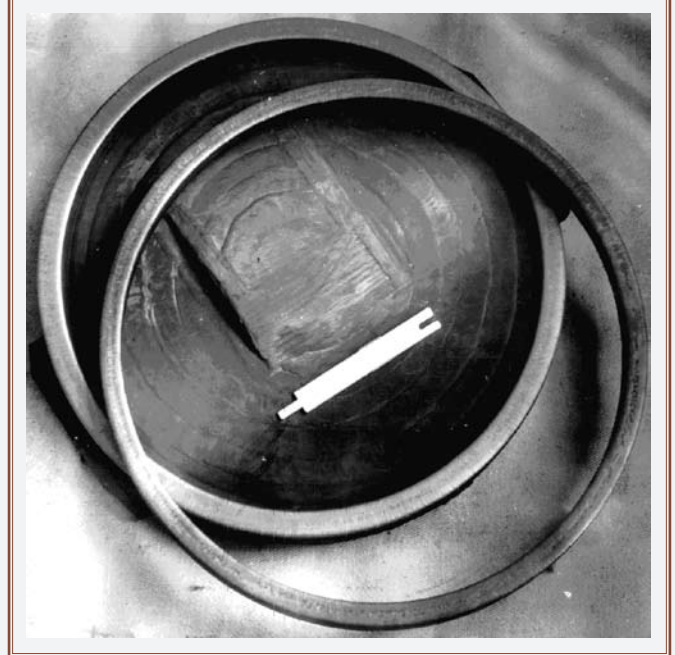
**Рис. 3. Макрошлифы валиков, наплавленных порошком кобальтового стеллита (производительность подачи порошка 6 кг/ч) на нержавеющую сталь, при различной температуре подогрева, при токе наплавки 190 А (а) и различном токе при постоянной температуре подогрева 600 °С (б)**



элементов при плазменно-порошковой наплавке это позволяет получать металл требуемого состава уже в первом наплавленном слое.

Примером может служить восстановление плазменной наплавкой порошком ПН-АН34 изношенных деталей крупных задвижек (рис. 4), регулирующих потоки среды с высокими коррозионными свойствами и температурой до 630 °С и срабатывающих на открытие-закрытие 24 тыс. раз в год. Опыт эксплуатации восстановленных задвижек показал их высокую работоспособность: темп износа задвижек,

**Рис. 4. Седло и плашка задвижки DN 900, наплавленные плазменным способом порошком ПН-АН34**



наплавленных порошком ПН-АН34, на 20-30% ниже, чем у новых деталей, которые наплавляются сплавом стеллит 6.

Существенную долю арматуры в судовом машиностроении наплавляют сплавами на основе меди. Использование в этом случае плазменно-порошковой наплавки на обратной полярности взамен ручной аргонодуговой позволяет за счет более низкого тепловложения в основной металл получить наплавленный металл с минимальным содержанием железа и высокими механическими свойствами биметаллического соединения. Установлено, что применение плазменной наплавки деталей арматуры порошком ПР-Бр. АЖНМц 8,5-4-5-1,5 взамен аргонодуговой наплавки бронзы Бр. АМц 9-2 позволило в 3-8 раз повысить производительность труда и в 2 раза сократить расход присадочного металла.

● **Энергетическая арматура.** Широкое применение получила плазменно-порошковая наплавка энергетической арматуры для пара с температурой до 570 °С, давлением до 26 МПа и воды с температурой 280 °С, давлением 38 МПа.

На уплотнительные поверхности деталей такой арматуры преимущественно наплавляют сплавы на основе никеля с бором и кремнием с твердостью 45-50 HRC<sub>3</sub>. Наплавленный металл этого типа хорошо сопротивляется изнашиванию при сухом трении металла по металлу, сохраняет высокую твердость до температуры 600 °С, стоек против коррозии во многих агрессивных средах. К числу других преимуществ Ni-Cr-Si-B-сплавов относят довольно низкую температуру плавления (1050-1150 °С), умеренную стоимость по сравнению со стоимостью Co-Cr-W-C-сплавами, а также возможность значительного снижения температуры подогрева при наплавке.

Однако, как показывает опыт, при наплавке Ni-Cr-Si-B-сплавов на низкоуглеродистые или низколегированные

стали возникают определенные трудности. Кроме того, большинство деталей энергетической арматуры работают при повышенных температурах, поэтому следует считаться с возможностью изменения свойств металла этого типа в зоне сплавления вследствие взаимной диффузии легирующих элементов наплавленного и основного металлов.

Было установлено, что в результате отпуска наплавленных образцов резко снижается их прочность на отрыв (табл. 2). По зоне сплавления происходит не только расслоение образцов при ударных нагрузках, но и их разрушение при статических испытаниях на отрыв наплавленного металла.

Повысить прочность соединения наплавленного металла НХ15СР2 со сталью 20 можно за счет снижения температуры отпуска по сравнению с температурой, указанной в общеизвестных рекомендациях по термической обработке этой стали. При этом, как показывает опыт,

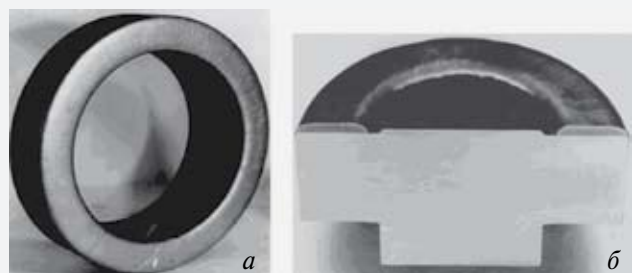
Таблица 2

Прочность на отрыв металла НХ15СР2, наплавленного на сталь 20, в зависимости от режима отпуска		
Режим отпуска		Прочность на отрыв, МПа
Температура, °С	Выдержка, ч	
600	3	410±40
	12	360±40
	24	205±30
650	3	340±40
730	3	250±30
	24	155±30

снижение температуры отпуска не приводит к снижению работоспособности изделия.

На основании этих данных была разработана промышленная технология плазменно-порошковой наплавки Ni-Cr-Si-B-C-сплавов на детали запорной арматуры из низкоуглеродистых и низколегированных сталей. Плазменно-порошковая наплавка деталей запорной арматуры различного назначения организована ИЭС им. Е.О. Патона на специализированных предприятиях в России и Чехии. Ежегодно наплавляют десятки тысяч штук седел и тарелок задвижек DN 100-400 (рис. 5). Хорошее формирование валиков при плазменной наплавке сокращает трудоемкость механической обработки за счет уменьшения припусков. Толщина наплавленного слоя обычно составляет 3,8-4,2 мм, а после механической обработки – 3±0,5 мм.

Рис. 5. Наплавленное седло (а) и макрошлиф наплавленной тарелки (б) энергетической задвижки DN 150 мм



При ручной дуговой наплавке эти толщины равны соответственно 12-15 и 9-10 мм, при автоматической наплавке под флюсом – 10-12 и 7-9 мм.

Доказано, что надежность деталей энергетической арматуры, наплавленной плазменно-порошковым методом, выше, чем наплавленной вручную электродами ЦН-6, ЦН-12 и ЦН-2 (Сплав на основе кобальта/И.И. Фрумин, П.В. Гладкий, Е.Ф. Переплетчиков и др.// А.с. СССР № 722331. С22С 19/07. Заявлено 30.05.78 г.). При плазменно-порошковой наплавке средняя наработка до отказа (до появления трещин на уплотнительных поверхностях) составляет для тарелок 46,7 тыс.ч, для седел – 210,0 тыс.ч. Для деталей арматуры, наплавленных электродами ЦН-2 и ЦН-12, средняя наработка до отказа составляет 4,08-20,40 тыс.ч.

● **Нефтегазовая арматура.** На ряде предприятий Украины и России ИЭС им.Е.О. Патона организовало производство наплавленных деталей запорной арматуры для нефтяных и газовых скважин. Детали затвора прямооткрытых шиберных задвижек подвергаются воздействию коррозионных сред с содержанием сероводорода и углекислого газа до 25% при давлении до 70 МПа и температуре среды от минус 60 до плюс 43 °С.

Длительную и надежную работу наплавленных деталей запорной арматуры обеспечивают особая конструкция фонтанной арматуры и применение для наплавки седел и шиберов сплавов на никелевой основе с высокими твердостью и коррозионной стойкостью (рис. 6). Плазменная наплавка оказалась эффективной как при изготовлении новых, так и при восстановлении изношенных шиберов и седел. Гарантируется безотказная работа наплавленных деталей запорной арматуры в течение не менее 10 лет.

Рис. 6. Седла и шиберы фонтанных задвижек DN 50, наплавленные плазменно-порошковым методом

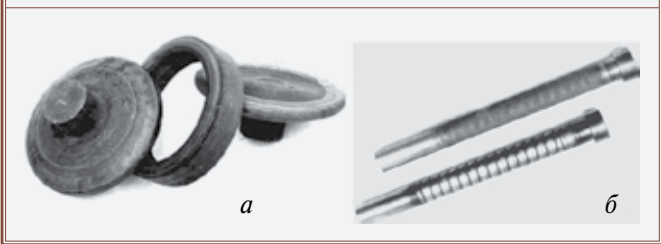


● **Износостойкая арматура.** Важной составляющей оборудования терминальных систем и линейной части трубопроводов для гидротранспорта грузов на предприятиях горнорудной (добыча и переработка руд черных и цветных металлов), угольной (обогащительные фабрики, гидродобыча), цементной и других отраслей промышленности является

ся арматура. Общепромышленная арматура в этих условиях имеет катастрофически низкий ресурс работы. Значительно повысить ресурс шиберной и клиновой арматуры DN 100-400, работающей при гидротранспортировке угля (давление от 1 до 16 МПа), позволила плазменно-порошковая наплавка. Наплавляют уплотнительные поверхности седел и шиберов, поверхность проходного отверстия седел, нижнюю торцевую поверхность шиберов и штоки (рис. 7).

Для условий гидроабразивного, коррозионного и кавитационного изнашивания, характерного для деталей арматуры гидротранспорта, ИЭС им. Е.О. Патона предложил высокохромистый сплав на основе железа 250Х30С2ГР (порошок ПГ-АН1). Важнейшими компонентами сплава являются углерод, хром и бор, образующие твердые карбиды и бориды, которые обуславливают высокую стойкость против абразивного изнашивания. Вместе с тем этому сплаву присуща высокая склонность к образованию трещин, что вызывает необходимость применения при наплавке предварительного и сопутствующего подогревов и замедленного охлаждения изделия после наплавки. Наплавленный металл имеет твердость

**Рис. 7. Внешний вид деталей задвижек для гидротранспортировки угля, наплавленных плазменно-порошковым методом:**  
а — детали затвора; б — штоки



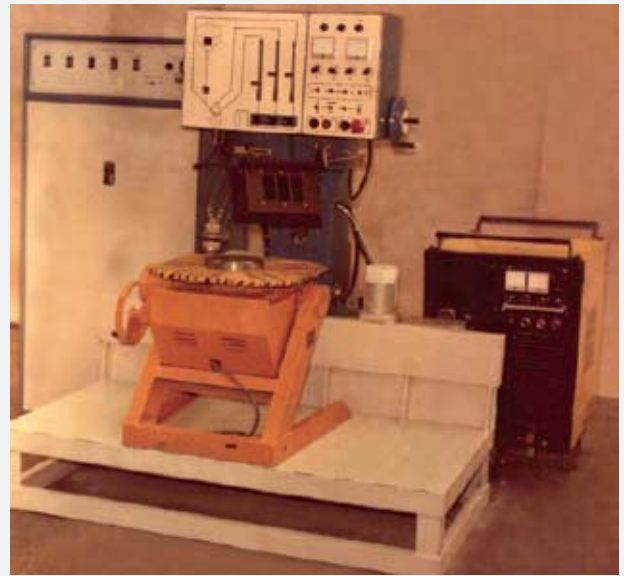
60-62 HRC<sub>3</sub>, и его механически либо не обрабатывают (внутренняя поверхность седел), либо обработку производят только шлифованием.

Создание оригинальных конструкций износостойкой арматуры обусловило высокие эксплуатационные характеристики затворов с плазменно-порошковой наплавкой: ее ресурс оказался в 5-10 раз выше, чем у арматуры общепромышленного назначения.

Для механизированной плазменной наплавки деталей арматуры различного назначения в ИЭС им. Е.О. Патона разработано несколько типов установок. Универсальная установка ОБ 2184 (рис. 8) предназначена для наплавки цилиндрических поверхностей диаметром до 400 мм и длиной до 800 мм, а также деталей плоской формы с размерами 800x500x400 мм. Возможна наплавка конических и фасонных деталей. В комплект установки входит аппарат А 1756, который можно использовать автономно. Он легко монтируется на консоль, что позволяет создать установку для наплавки деталей арматуры DN 1000 и более.

Специализированная автоматическая установка УП-142 (рис. 9) предназначена для серийной или массовой наплавки деталей типа дисков диаметром до 200 мм и

**Рис. 8. Универсальная установка ОБ 2184 для плазменно-порошковой наплавки**



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. Ее легко встраивать в линию с автоматической загрузкой и выгрузкой деталей при массовом производстве. Электрическая схема управления установкой предусматривает возможность наплавки в один или два слоя.

Применение плазменно-порошковой наплавки в серийном производстве деталей энергетической, нефтехимической и судовой арматуры позволило в 2-3 раза повысить производительность труда, коренным образом улучшить качество наплавленного металла и значительно увеличить работоспособность наплавленных деталей.

**Рис. 9. Автоматическая установка УП-142 для наплавки деталей арматуры**

