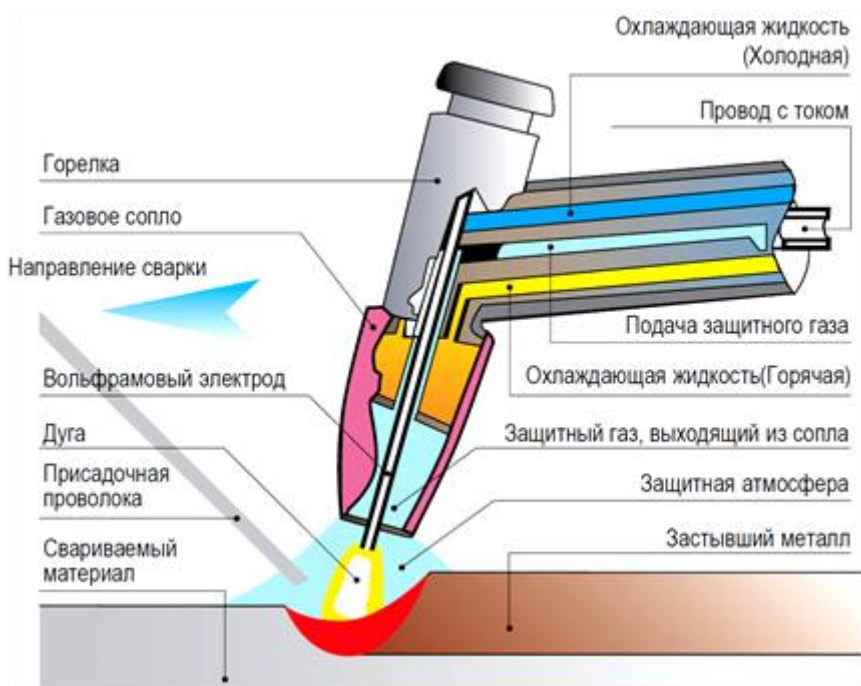


В.А. Белевитин, Е.Н. Смирнов

**ВОССТАНОВЛЕНИЕ
ДЕТАЛЕЙ МАШИН:
МЕТАЛИЗАЦИЯ, НАПЛАВКА, СВАРКА,
МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ПОКРЫТИЙ**



**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
Южно-Уральский государственный гуманитарно-педагогический университет

В.А. Белевитин, Е.Н. Смирнов

**ВОССТАНОВЛЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ МАШИН:
МЕТАЛЛИЗАЦИЯ, НАПЛАВКА, СВАРКА,
МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ПОКРЫТИЙ**

Учебное пособие

Челябинск
2019

УДК 621.8

ББК 34.44-083.я73

Б 43

Белевитин, В.А. Восстановление деталей машин: металлизация, наплавка, сварка, механическая обработка покрытий // В.А. Белевитин, Е.Н. Смирнов. – Челябинск: Изд-во ЮУрГГПУ, 2019. – 115 с.

ISBN 978-5-907210-43-1

Учебное пособие содержит описания основных ремонтных технологий восстановления деталей машин: металлизации, наплавки, сварки и механической обработки покрытий с реальными режимами электролитического наращивания (хромирования, меднения, осталивания, химического никелирования), металлизации (газовой, электрометаллизации, высокочастотной, плазменной), наплавки и сварки (газовой, электродуговой при постоянном и переменном токе, автоматической под слоем флюса, электроимпульсной наплавки) и режимов механической обработки покрытий. Даны краткие сведения о металлах и сплавах, применяемые для механической обработки, оборудовании и рабочем инструменте, режимах операций резания в процессах точения и шлифования.

Пособие рекомендуется для студентов, специализирующихся по направлению «Профессиональное обучение», профиль «Транспорт».

Рецензенты: М.С. Дмитриев, д-р технич. наук, профессор
И.А. Полунин, канд. техн. наук, доцент

ISBN 978-5-907210-43-1

© В.А. Белевитин, Е.Н. Смирнов, 2019
© Южно-Уральский государственный
гуманитарно-педагогический универ-
ситет, 2019

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
Глава 1. СВАРКА И НАПЛАВКА.....	7
1.1. Традиционные способы восстановительного ремонта деталей наплавкой и сваркой.....	7
1.2. Специальные способы наплавки и сварки.....	23
Контрольные вопросы.....	38
Глава 2. МЕТАЛЛИЗАЦИЯ.....	40
2.1. Электродуговая металлизация.....	40
2.2. Газопламенная металлизация.....	42
2.3. Высокочастотная металлизация.....	50
2.4. Плазменная металлизация.....	52
2.5. Ионно-плазменная металлизация.....	55
2.6. Детонационная металлизация.....	57
2.7. Области применения металлизации.....	61
Контрольные вопросы.....	63
Глава 3. ВОССТАНОВЛЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКИМИ СПОСОБАМИ.....	65
3.1. Основы процесса электролитического наращивания.....	65
3.2. Технологический процесс осталивания.....	67
3.3. Технологический процесс безванного осаждения металла.....	72
3.4. Технологический процесс хромирования.....	74
3.5. Технологический процесс никелирования.....	80
3.6. Технологический процесс меднения.....	85
Контрольные вопросы.....	87
Глава 4. СПОСОБЫ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ ПОСЛЕ НАРАЩИВАНИЯ ПОКРЫТИЙ.....	88
4.1. Припуск на механическую обработку покрытий.....	88
4.2. Обработка поверхностей деталей после их восстановления.....	90
Контрольные вопросы.....	107
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	108

ВВЕДЕНИЕ

Многолетним отечественным и зарубежным опытом доказана целесообразность восстановительного ремонта машин и деталей их узлов и механизмов, так как для металлоемких деталей стоимость ремонта значительно ниже стоимости новой детали. Кроме того, что не менее важно, при восстановлении деталей экономится значительное количество металла.

Ремонтное производство располагает большим количеством различных способов восстановления деталей, которые позволяют не только вернуть им свойства новых, но и в ряде случаев даже улучшить их. Многочисленность технологических способов, используемых при восстановлении деталей, объясняется разнообразием производственных условий и дефектов, для устранения которых они применяются. В зависимости от характера устраняемых дефектов все процессы восстановления деталей группируются в две основные группы: восстановление деталей с механическими повреждениями и восстановление деталей с изношенными поверхностями (с изменением размеров рабочих поверхностей деталей). К первой группе относят способы восстановления деталей, имеющих трещины, пробоины, изломы, деформации, а также коррозионные повреждения, ко второй — с измененными размерами и геометрической формой рабочих поверхностей в виде овальности, конусообразности и др. Применение того или иного способа восстановления зависит также от материала, из которого изготовлена восстанавливаемая деталь.

При выборе способа восстановительного ремонта машин и деталей их узлов и механизмов следует учитывать, что затраты на восстановление деталей уменьшаются в следующей последовательности (считая, что наиболее дорогостоящим является способ добавочных ремонтных деталей (ДР): способ ДР и замена элемента детали → хромирование → металлизация → сварка → раздача, правка (давлением) → под ремонтные размеры. Наиболее дешевым является способ ремонтных размеров при условии выпуска промышленностью сопряженных деталей не только но-ми-

нального, но и ремонтного размеров. При разработке маршрутной технологии восстановительного ремонта необходимо тщательное изучение состояния деталей, требующих ремонта, с целью выявления их характера и вариантов сочетаний. Количество маршрутов должно быть минимальным (≤ 5), иначе усложняется планирование и увеличивается площадь складских помещений, что влечёт за собой дополнительные затраты. Маршрут ремонта должен предусматривать технологическую взаимосвязь сочетаний дефектов со способами их ремонта, а также обеспечивать экономическую целесообразность восстановительного ремонта деталей. При этом применять специальные стали следует только в том случае, когда они крайне необходимы, так как путем надлежащего подбора химического состава и термической обработки углеродистой стали во многих случаях можно добиться почти такой износостойкости, какой обладают самые дорогие сорта специальных сталей.

Ремонт детали предусматривает восстановление ее работоспособности, первоначальной посадки, размеров, геометрической формы и взаиморасположения осей, прочности, твердости, герметичности и др. Устранить одни и те же дефекты возможно различными способами, например, изношенные места могут быть отремонтированы использованием способов электролитического наращивания (хромирования, оставливания, меднения, химического никелирования), металлизации (газовая, электрометаллизация высокочастотная плазменная), наплавкой и сваркой (газовой, электродуговой при постоянном и переменном токе, автоматической под слоем флюса, электроимпульсной наплавкой и пайкой) и другими способами, и наоборот, – один и тот же способ ремонта может быть применен для устранения разных дефектов – восстановления изношенных участков детали, заварки трещин, наплавки резьбы и др. Наиболее распространенные способы восстановления деталей – сварка и наплавка. Этими способами восстанавливают около 60% деталей. Широкое применение сварки и наплавки обусловлено простотой технологического процесса и используемого оборудования, возможно-

стью восстановления деталей из большинства используемых металлов и сплавов, высокой производительностью и низкой себестоимостью.

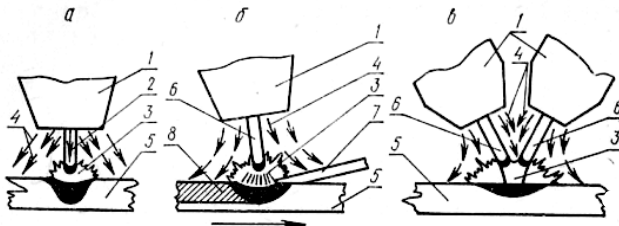
Для гарантированного обеспечения качества ремонтных операций, от квалифицированного исполнения которых зависит надёжность эксплуатации автотранспортных средств, а следовательно, и уровень безопасности дорожного движения, важны знания, умения и навыки компетентного выполнения технологических требований и особенностей диагностики поврежденных износом деталей узлов и агрегатов машин, их контрольных измерений и соблюдения, на этой основе, регламентируемых норм по допускам геометрических отклонений, показателей качества, шероховатости и эксплуатационные свойства подвергнутых восстановительному ремонту деталей одним из вышеобозначенных способов.

Учебное пособие составлено по материалам публикаций [1-21] и предназначено для студентов вузов, обучающихся по специальностям, связанным с эксплуатацией, обслуживанием и ремонтом автомобильного транспорта, и построено в полном соответствии с рабочей программой, нацелено на формирование у студентов основных понятий по обоснованному и осознанному подходу к выбору оптимальных режимов восстановления деталей автотранспортных средств.

Глава 1. СВАРКА И НАПЛАВКА

1.1. Традиционные способы восстановительного ремонта деталей наплавкой и сваркой

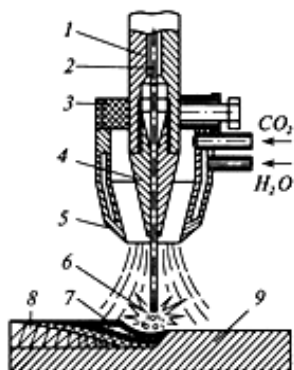
Сваркой и наплавкой восстанавливают около 60 % всех ремонтируемых деталей автомобилей. При помощи сварки завариваются трещины и изломы на раме и платформе, ставятся заплаты, различные накладки и усилительные косынки, восстанавливаются картеры агрегатов. Поврежденная или изношенная резьба на поворотных цапфах и других деталях восстанавливается сваркой с последующим нарезанием новой резьбы. Таким же способом восстанавливают внутренние резьбы. Восстановление деталей наплавкой заключается в том, что изношенные рабочие поверхности наплавляют так, чтобы их можно было обработать под номинальные или ремонтные размеры. При ремонте автомобилей применяются автоматическая и полуавтоматическая наплавка и сварка под слоем флюса или в среде защитного газа. Сварка и наплавка в защитных газах производится плавящимся и неплавящимся электродами. При сварке, наплавке плавящимся электродом (рис. 1.1, *a*) электрическая дуга горит между электродной проволокой, подаваемой в зону сварки (в дугу) и изделием [1].



Наплавка плавящимся электродом в среде углекислого газа

Сущность способа наплавки плавящимся электродом в среде углекислого газа заключается в том, что электродная проволока из кассеты непрерывно подается в зону сварки (рис. 1.2) [2].

Рис. 1.1 – Схема наплавки в среде углекислого газа [2]:
1 – мундштук; 2 – электродная проволока; 3 – горелка; 4 – наконечник; 5 – сопло горелки; 6 – электрическая дуга; 7 – сварочная ванна; 8 – наплавленный металл; 9 – наплавляемая деталь



Сущность способа наплавки в среде углекислого газа заключается в том, что электродная проволока из кассеты непрерывно подается в зону сварки (рис. 1.3) [2].

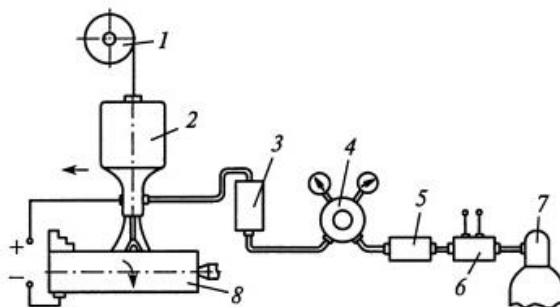


Рис. 1.3 – Схема установки для дуговой наплавки в среде углекислого газа [2]:

1 – кассета с наплавочной проволокой; 2 – наплавочный аппарат; 3 – расходомер; 4 – редуктор; 5 – осушитель; 6 – подогреватель; 7 – баллон с углекислым газом CO_2 ; 8 – наплавляемая деталь

Ток к электродной проволоке 2 подводится через мундштук 1 и наконечник 4, расположенные внутри газозлектрической горелки 3. При наплавке металл электродной проволоки 2 и наплавляемой детали 9 перемешивается в сварочной ванне 7. В зону горения электрической дуги 6 под давлением 0,05...0,2 МПа по

трубке подается углекислый газ CO_2 , который, вытесняя воздух, защищает расплавленный металл от вредного действия кислорода и азота воздуха. При наплавке используют токарный станок, в патроне которого устанавливают наплавляемую деталь 8, на суппорте крепят наплавочный аппарат 2.

Углекислый газ из баллона 7 подается в зону горения. При выходе из баллона 7 газ резко расширяется и переохлаждается, поэтому для подогрева его пропускают через электрический подогреватель 6. Содержащуюся в углекислом газе воду удаляют с помощью осушителя 5, который представляет собой патрон, наполненный обезвоженным медным купоросом или силикагелем. Давление газа понижают с помощью кислородного редуктора 4, а его расход контролируют расходомером 3.

К достоинствам этого способа относятся:

- относительно небольшой нагрев наплавляемых деталей;
- возможность наплавки детали при любом её пространственном положении;
- высокая по площади покрытия производительность процесса;
- отсутствие трудоемкой операции отделения шлаковой корки;
- возможность наплавки деталей диаметром менее 40 мм.

К недостаткам этого способа относятся:

- повышенное разбрызгивание металла (5...10%);
- необходимость применения легированной проволоки для получения наплавленного металла с требуемыми свойствами;
- открытое световое излучение электрической дуги.

Для наплавки применяют следующее оборудование:

- наплавочные головки АВС, А-384, А-409, А-580, ОКС-1252М;
- источники питания ВС-200, ВСУ-300, ВС-400, ПСГ-350, АЗД-7,5/30;
- подогреватели газа;
- осушитель, наполненный обезвоженным медным купоросом или силикагелем КСМ крупностью 2,8–7 мм;
- редукторы-расходомеры ДРЗ-1-5-7 или ротаметры РС-3, РС-3А, РКС-65, или кислородный редуктор РК-53Б.

При наплавке используют материалы:

- электродную проволоку Св-12ГС, Св-0,8ГС, Св-0,8Г2С, Св-12Х13, Св-06Х19Н9Т, Св-18ХМА, Нп-3ОХГСА;
- порошковую проволоку ПП-Р18Т, ПП-Р19Т, ПП-4Х28Г и др.

Режимы наплавки цилиндрических поверхностей представлены в таблице 1.1 [2].

Таблица 1.1.

Режимы наплавки цилиндрических поверхностей [2]

Диаметр детали, мм	Толщина наплавляемого слоя, мм	Диаметр электрода, мм	Сила тока, А	Напряжение, В	Скорость наплавки, м/ч	Смещение электрода, мм	Шаг наплавки, мм	Вылет электрода, мм	Расход углекислого газа, л/мин
10...20	0,5...0,8	0,8	70...90	16...18	40...45	2...4	2,5...3,0	7...10	6...8
20...30	0,8...1,0	1,0	85...110	18...20	40...45	3...5	2,8...3,2	3...11	6...8
30...40	1,0...1,2	1,2	90...150	19...23	35...40	5...8	3,0...3,5	10...12	6...8
40...50	1,2...1,4	1,4	110...180	20...24	30...35	6...10	3,5...4,0	10...15	8...10
50...60	1,4...1,6	1,6	140...200	24...28	30...20	7...12	4,0...6,0	12...20	8...10
60...70	1,6...2,0	2,0	280...400	27...30	20...15	8...14	4,5...6,5	18...25	10...12
70...80	2,0...2,5	2,5	280...450	38...30	11...20	9...15	5,0...7,0	20...27	12...15
80...90	2,5...3,0	3,0	300...480	28...32	10...20	9...15	5,0...7,5	20...27	14...18
90...100	0,8...1,0	1,0	100...300	18...19	70...80	8...10	2,8...3,2	10...12	6...8
100...150	0,8...1,0	1,2	130...160	18...19	70...80	8...12	3,0...3,5	10...13	8...9
200...300	0,8...1,0	1,2	150...190	19...21	20...30	18...20	3,0...3,5	10...13	8...9
200...400	1,8...2,8	2,0	350...420	32...34	25...35	18...22	4,5...6,5	25...40	15...18

Наплавку в среде углекислого газа CO_2 производят на постоянном токе обратной полярности.

Тип и марку наплавочной электродной проволоки выбирают в зависимости от материала восстанавливаемой детали и требуемых физико-механических свойств наплавленного металла.

Скорость подачи наплавочной проволоки зависит от силы тока, устанавливаемой с таким расчетом, чтобы в процессе наплавки не было коротких замыканий и обрывов дуги.

Скорость наплавки зависит от толщины наплавляемого слоя металла и качества его формирования.

Наплавку валиков наплавляемого слоя металла осуществляют с шагом 2,5...3,5 мм. Каждый последующий валик должен перекрывать предыдущий не менее чем на 1/3 его ширины.

Твердость наплавленного металла зависит от марки и типа электродной проволоки 200...300 НВ.

Расход углекислого газа зависит от диаметра наплавляемой электродной проволоки. На расход газа также оказывают влия-

ние скорость наплавки, конфигурация изделия и наличие движения воздуха.

Процесс полуавтоматической сварки плавящимся электродом в среде углекислого газа

Сварку в углекислом газе CO_2 применяют при ремонте кабин, кузовов и других деталей, изготовленных из листовой стали небольшой толщины, а также для устранения дефектов резьбы, осей, зубьев, пальцев, шеек валов и т.д. [2].

Сварка полуавтоматом в среде углекислого газа CO_2 (рис. 1.4) производится на постоянном токе, полярность которого является обратной, так как при прямой полярности дуга оказывается излишне нестабильной. Применяется такой тип сварки преимущественно для простых соединений.

Углекислота уступает аргону по защитным свойствам, но для большинства стандартных марок металла, которые широко используются в промышленности, она подходит хорошо с различных позиций. Углекислый газ для полуавтоматической сварки не рекомендуется использовать в закрытых и плохо проветриваемых помещениях, так как он вызывает удушье.

Преимущества полуавтоматической сварки в углекислом газе CO_2 состоят в следующих основных факторах [2]:

- обеспечивается высокое качество соединения, в котором минимизируется появление бракованных изделий;
- защитный газ (CO_2) обладает относительно невысокой стоимостью;
- сварочный процесс можно проводить даже на весу без подкладки;
- не возникает проблем со сваркой металла на малых толщинах, а также при сварке электрозаклепками;
- соединение металла может осуществляться практически в любом пространственном положении, если правильно подобраны режимы;
- рационально используется тепло сварочной дуги, что дает высокую производительность сварки.

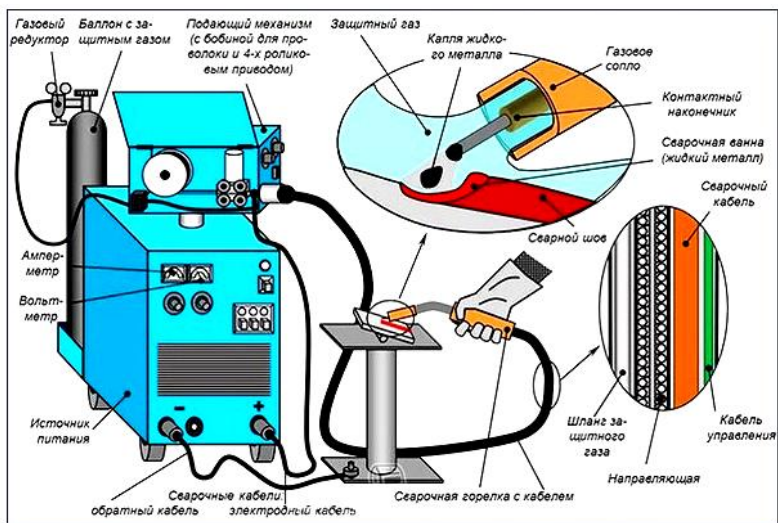


Рис. 1.4 – Схема полуавтоматической сварки в среде углекислого газа CO_2 [2]

К недостаткам этого способа относятся:

- при сварке металлов, которые трудно поддаются соединению, возможны проблемы, одна из которых – пористость шва;
- не рекомендуется проводить многослойную сварку;
- при использовании в плохо проветриваемом помещении углекислота может вызывать удушье;
- режимы полуавтоматической сварки в среде защитных газов определяются тем, какова толщина металла заготовки.

Процесс полуавтоматической сварки в среде углекислого газа CO_2 позволяет проводить соединение как самых тонких деталей, данный параметр которых составляет 1–2 мм, так и более толстых – более 6 мм. В среднем же толщина основного металла колеблется в пределах от 3 до 5 мм (табл. 1.2). От этого значения зависит диаметр используемой сварочной проволоки или непокрывого электрода, сила тока и напряжения, скорость подачи расходного материала и сколько газа будет затрачено при данном процессе.

Таблица 1.2.

Параметры режима полуавтоматической сварки
в среде углекислого газа CO₂ [2]

Толщина, мм	Диаметр проволоки, мм	Величина тока, А	Напряжение, В	Скорость подачи проволоки, м/ч	Расход газа
1,5	0,8	120	19	150	6
1,7	1	150	20	200	7
2	1,2	170	21	250	10
3	1,4	200	22	490	12
4-5	1,6	250	25	680	14
6 и более	1,6	300	30	700	16

Процесс сварки в среде углекислого газа является относительно простым и не требует от сварщика каких-то особых усилий. От мастера требуется всего лишь выдержать вылет сварочной проволоки, который определяется режимом сварки. Также требуется равномерно с одинаковой скоростью перемещать сварочную горелку. Вместе с тем, существует ряд рекомендаций, которые относятся к работе с углекислотой на полуавтомате. Для данного процесса следует выполнять следующие правила:

- Перед началом процесса, нужно убедиться, что углекислота выходит из горелки и сам инструмент является исправным.
- Давление газа во время сварки должно составлять 0,02 кПа. Это не постоянный показатель, т. к. при сквозняке и ветре, которые сдувают часть расходного материала, расход становится больше, а соответственно и подачу нужно осуществлять при большем давлении.
- Горелка должна работать под особым углом. В среднем, данный параметр лежит в пределах от 65 до 75 градусов.
- Шов желательно вести справа налево. Это обеспечивает более лучший просмотр для свариваемых кромок. Если шов получается не соответствующим требуемому качеству, то следует сразу

поменять режимы сварки, отрегулировав ток, скорость подачи проволоки, напряжение дуги или прочие значения.

– Применяется два основных вида расходных материалов. Первым является сама углекислота. Она не горючая, так что не вызывает опасности взрыва, но обеспечивает достаточный уровень защиты. Вторым является сварочная проволока, которая подбирается в соответствии с металлом, который будет свариваться.

Сварка плавящимся электродом в настоящее время остаётся наиболее распространённым видом сварки, используемым в промышленности.

Наплавка плавящимся электродом под слоем флюса

Наплавка под слоем флюса представляет собой процесс, во время которого сварочная дуга между плавящимся электродом и наплавляемой деталью защищается с помощью слоя предварительно расплавленного флюса – толщина слоя при этом может колебаться от 20 до 40 миллиметров. Такая защита необходима для того, чтобы оградить металл от воздействия окружающего воздуха, предотвращая таким образом возникновение окисления металла кислородом. Кроме того, слой флюса выполняет и еще одну задачу – он не позволяет расплавленному металлу разбрызгиваться и сохраняет тепло. Таким образом, флюс позволяет добиться экономии металла и повышает производительность труда сварщика. Стоит отметить, что до расплавленного состояния флюс доводится при помощи той же сварочной дуги (рис. 1.5) [3].

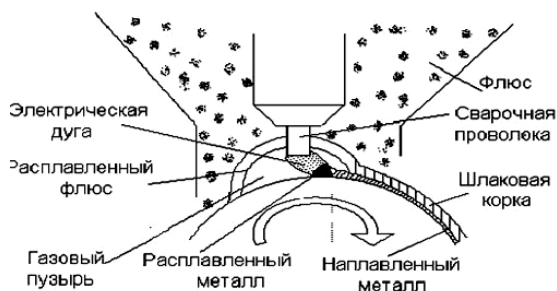


Рис. 1.5 – Схема наплавки плавящимся электродом под слоем флюса [3]

При проведении наплавки под слоем флюса, как правило, в качестве электрода выступает сварочная проволока, не имеющая покрытия. Диаметр проволоки выбирается в зависимости от задач, поставленных перед сварщиком, и может варьироваться от 1 до 6 мм.

Что касается вида тока, используемого при наплавке под слоем флюса, то чаще всего здесь применяется ток с обратной полярностью – плюс от источника электрического тока подается на сварочную проволоку, а минус – на наплавляемую поверхность изделия. Для того, чтобы еще больше повысить производительность этого метода, часто используют ленточные электроды или подачу сразу двух проволок в зону наплавки с помощью двух полуавтоматических приспособлений.

Преимущества наплавки под слоем флюса.

Дуговая наплавка под флюсом занимает лидирующие позиции среди всех видов наплавки металла, благодаря тем преимуществам, которыми она обладает. К основным достоинствам наплавки под слоем флюса можно отнести:

- высокую производительность труда. Особенно хорошо это достоинство проявляется в тех случаях, когда производится наплавка на большую площадь поверхности изделия, обладающего достаточно простой формой;
- невысокую сложность процесса. Наплавка под слоем флюса не требует высокой квалификации от сварщика, поэтому для ее производства не требуется искать специалиста, обладающего большим опытом именно в этом спектре сварочных работ;
- высокое качество работы. При применении наплавки под слоем флюса внешний вид валика из наплавленного металла обладает отличными эстетическими характеристиками, что имеет большое значение для внешнего вида всей детали. Кроме того, получаемый в результате наплавки валик обладает высокой прочностью и надежностью и прекрасно проявляет себя в ходе дальнейшей эксплуатации изделия;
- высокую безопасность работы сварщика. Соккрытие сварочной дуги под слоем флюса позволяет избежать разбрызгивания рас-

плавленного металла, что значительно повышает безопасность рабочего, предотвращая возможность получения ожогов.

Вместе с несомненными достоинствами наплавка металла под слоем флюса имеет и определенные недостатки. И основными минусами этого вида наплавки можно считать:

- высокую стоимость оборудования. Как правило, оборудование, применяемое в ходе наплавки под слоем флюса, стоит дороже, чем оборудование для ручной дуговой наплавки с применением стержневых электродов с покрытием;
- большую зону нагрева, из-за чего этот вид наплавки не может быть применен в тех случаях, когда требуется наплавка металла на мелкие изделия, особенно, в том случае, если эти изделия обладают достаточно сложной формой;
- кроме того, часто к недостаткам этого вида наплавки относят и тот факт, что он снижает усталостную прочность металлической детали, причем, показатель снижения прочности металла может в некоторых случаях достигать 40%.

И все же, несмотря на все недостатки, наплавка металла под слоем флюса продолжает оставаться самым распространенным способом наплавки, так как позволяет существенно экономить ресурсы – и не только сам металл, но и энергетические ресурсы предприятия, что, в свою очередь, приводит к снижению стоимости получаемых в результате применения этого способа наплавки изделий.

На качество и механические свойства наплавленного слоя большое влияние оказывают материал проволоки и ее диаметр, состав флюса и размеры его составных элементов (грануляция), скорости подачи проволоки и наплавки, род и полярность тока, режимы наплавки, выбранный прием наплавки и расположение электрода по отношению к наплавленной поверхности [4].

Цилиндрические поверхности подвергают наплавке по винтовой линии с перекрытием предыдущего валика последующим на $1/2 \dots 1/3$ ширины (рис. 1.6). Вылет электрода принимают 20...30 мм для проволоки диаметром 2...3 мм. При более толстой проволоке вылет увеличивают. Напряжение дуги 25...30 В. Сила тока зависит от диаметра детали, величины износа и диаметра

проволоки. Диаметр проволоки выбирают с учетом толщины слоя наплавки и диаметра детали. Для восстановления деталей обычно применяют проволоку диаметром 1,5...3 мм.

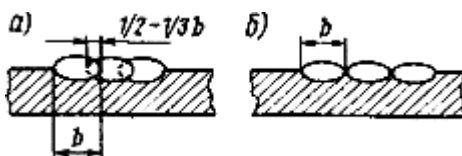


Рис. 1.6 – Схемы наложения валиков при наплавке:
а – правильное; б – неправильное

Сварочная или наплавочная проволока выпускается диаметром от 0,3 до 8 мм. Проволока может быть углеродистая и легированная. Ее маркируют с учетом назначения, химического состава и диаметра. Например, проволоку сварочную низкоуглеродистую диаметром 3 мм с содержанием углерода до 0,1% обозначают ЗСВ0,8; проволоку наплавочную легированную диаметром 4 мм с содержанием углерода (С) 0,35...0,45% и марганца (Mn) 0,7...1,0% обозначают 4Нп-40Г. Электродная наплавочная лента (обозначается ЛС) выпускается шириной от 30 до 100 мм как для однослойной наплавки (с литером А), так и для многослойной.

Флюсы, применяемые для автоматической и полуавтоматической наплавки, могут быть марганцовистыми плавлеными (АН-348 А, ОСЦ-45) и керамическими (АНК-18, АНК-19).

Для наплавки под слоем флюса нужно следующее оборудование: наплавочную автоматическую головку, источник питания сварочным током, аппаратуру управления и регулирования процесса наплавки, механическое оборудование для установки и перемещения детали, крепления и перемещения головки, вспомогательное оборудования (бункера для флюса и др.).

Главные элементы сварочного процесса — подача проволоки к дуге, поддержание постоянного дугового промежутка и перемещение дуги вдоль свариваемого шва, как правило, автоматизированы.

Для наплавки может быть использована любая сварочная головка, однако лучше применять специальные наплавочные головки. Наиболее распространены наплавочные головки А-580М,

А-384МК, А-874Н. Это универсальные аппараты, позволяющие работать как на постоянном, так и переменном токе. Наплавочный аппарат А-874Н может использоваться для восстановления цилиндрических и плоских деталей как под флюсом, так и в среде углекислого газа и открытой дугой при использовании сплошной или порошковой проволоки или ленты. Аппарат имеет механизм поперечного колебания электрода, что позволяет выполнять широкопослойную наплавку.

Источником питания служат обычные сварочные преобразователи ПСО и ПС или селеновые выпрямители. В качестве механического оборудования обычно применяют старые токарные станки. В центрах станка осуществляют установку наплавляемой детали, на суппорте монтируют головку и вспомогательное оборудование. Для уменьшения частоты вращения станка устанавливают понижающий редуктор. На схеме рис. 1.7 показана работа наплавочной установки: электродная проволока 4 подается автоматической наплавочной головкой 3 через мундштук 5 к наплавляемой детали 7, которая вращается. Одновременно в зону дуги из бункера 6 подается флюс.

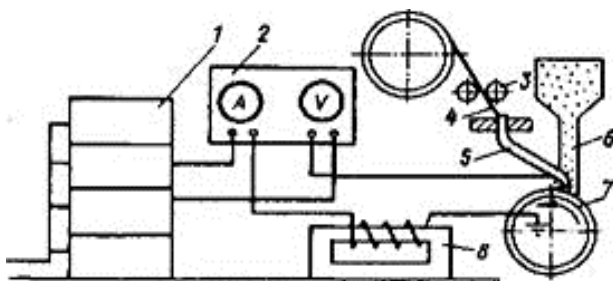


Рис. 1.7 – Схема установки для автоматической наплавки под слоем флюса:

- 1 – селеновые выпрямителя; 2 – пульт управления;
- 3 – автоматическая головка; 4 – электродная проволока; 5 – мундштук; 6 – бункер; 7 – наплавляемая деталь; 8 – регулятор индуктивности

Автоматическая наплавка под слоем флюса по сравнению с ручным способом в несколько раз повышает производительность благодаря увеличению скорости наплавки и улучшает

качество наплавки: шов получается однородный и плотный, сохраняются легирующие добавки, качество наплавки не зависит от индивидуальных навыков сварщика; уменьшает расход материалов; почти полностью устраняет потери электродной проволоки; исключает изготовление электродов с обмазкой; позволяет использовать флюс 2...3 раза; сокращает расход электроэнергии в результате устранения непроизводительного нагрева основного металла, лучеиспускания и потерь на разбрызгивание и угар, имеющих место при ручном способе; снижает расходы, связанные с механической обработкой после наплавки, так как благодаря равномерной толщине наплавленного слоя уменьшается припуск для последующей обработки; улучшает условия труда сварщиков, так как отсутствует мощный световой поток, сопровождающий ручную сварку, уменьшает выделение вредных газов.

При полуавтоматической наплавке под слоем флюса механизированы только подача проволоки и поддержание постоянного дугового промежутка. Для этого способа применяют сварочные шланговые полуавтоматы ПШ-5, ПДШМ-500, ПШ-54. В качестве источника питания используют преобразователи.

Для повышения производительности применяют двух- и многоэлектродную наплавку под слоем флюса. Последняя основана на использовании явления «бегающей» дуги и состоит в том, что специальная наплавочная головка подает в зону дуги одновременно несколько электродных проволок с одинаковой скоростью. При наплавке шестью электродами диаметром 3 мм за один проход наплавляется спой шириной до 70 мм и толщиной 3...4 мм. Глубина проплавления составляет всего 1,5...2 мм, даже несмотря на большой сварочный ток (до 800 А). Этот способ обладает высокой производительностью и позволяет снизить удельный расход электроэнергии на 1 кг наплавленного металла на 15...20%.

К способам автоматической наплавки под слоем флюса можно отнести также наплавку порошковой проволокой, ленточным и пластинчатым электродами.

Сущность наплавки порошковой проволокой состоит в том, что расплавленный металл защищается от влияния воздуха и легируется элементами, находящимися внутри проволоки. Такая проволока представляет собой металлическую оболочку толщиной 0,5...1 мм, плотно наполненную шихтой. В качестве шихты применяют порошкообразные легирующие и флюсовые элементы – мелкую чугунную стружку, доменный ферромарганец, феррохром, серебристый графит и др. Наплавка порошковой проволокой обладает большой твердостью и высокой износостойкостью. Детали порошковой проволокой наплавляют на тех же аппаратах, что и обычной электродной проволокой. Существуют и специальные аппараты А-765, А-1030 и др. Источниками тока служат сварочные преобразователи ПСГ и выпрямители ВС с жесткой электрической характеристикой.

Наплавлять детали ленточным электродом можно с применением флюса или порошковой лентой. В первом случае электродом служит малоуглеродистая стальная лента, флюс подают на деталь. Во втором случае электрод состоит из двух лент, составляющих оболочку, и порошкообразной шихты, расположенной внутри оболочки. Одна из лент имеет ячейки, предохраняющие шихту от перемещения.

Наплавка ленточным электродом высокопроизводительна (до 25 кг/ч), позволяет за один проход создавать слой шириной до 100 мм и толщиной 2...8 мм. Так же как и при многоэлектродной наплавке, сварочная дуга непрерывно перемещается, что обеспечивает равномерное оплавление электрода по всему сечению. Для работы с ленточным электродом разработаны специальные приставки к наплавочным автоматам А-384 и др. Этим способом наплавляют детали с большим износом.

К этому способу можно отнести и наплавку пластинчатым электродом, которая заключается в следующем. Поверхность наплавленной плоской детали покрывают равномерным слоем флюса толщиной 3...5 мм и на него кладут пластинчатый электрод.

род (листовая сталь толщиной 0,4...1 мм или кровельная сталь) по размеру поверхности, подлежащей наплавке. Сверху электрод покрывают слоем флюса толщиной 10...15 мм и накрывают медным брусом. Для возбуждения дуги в месте ее горения насыпают мелкую стальную стружку. Дуга горит между деталью и электродом. С момента возбуждения дуги наплавка продолжается автоматически.

Особенности автоматической вибродуговой наплавки: электрод одновременно с поступательным движением вибрирует с заданными частотой и амплитудой, поэтому процесс горения дуги периодически прерывается (рис. 1.8). В зону соприкосновения электрода и детали подается жидкость, которая охлаждает наплавляемую деталь и ионизирует дугу.

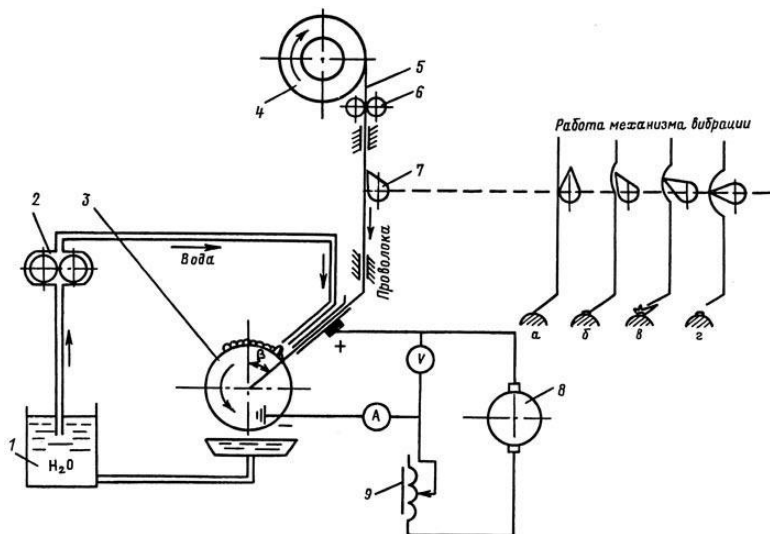


Рис. 1.8 - Схема установки для вибродуговой наплавки: 1 - емкость с охлаждающей жидкостью; 2 - водяной насос; 3 - деталь; 4 - кассета с электродной проволокой; 5 - электродная проволока; 6 - ролики подачи проволоки; 7 - механизм вибрации; 8 - источник тока; 9 - регулятор режима наплавки металла; а - контакт электродной проволоки с деталью; б - отрыв электродной проволоки от детали и возникновение дуги; β - процесс наплавки сварочной дугой; z - гашение сварочной дуги

Электродная проволока 5 из кассеты 4 направляется подающим механизмом 6 через к механизму вибрации 7. Одновременно к детали 3 насосом 2 подается охлаждающая жидкость (раствор кальцинированной соды с добавкой 0,5% минерального масла или 15%-ный водный раствор глицерина). Отработанная жидкость собирается в специальный бак. Вибродуговую наплавку можно вести не только в среде охлаждающей жидкости, но и под слоем флюса в слое защитных газов, водяного пара и т. д.

Режимы вибродуговой наплавки деталей представлены в таблице 1.3.

Таблица 1.3.

Режимы вибродуговой наплавки

Толщина наплавляемого слоя, мм	Толщина наплавляемого слоя, мм	Толщина наплавляемого слоя, мм	Толщина наплавляемого слоя, мм
0,3	1,6	120...150	132
1,1	2,0	150...210	60
2,5	2,5	150...210	18

Наплавочные головки применяют с электромагнитным вибратором (головки УАНЖ, ОКС-6569) или с механическим вибратором (головки ГМВК, ВГ). Источники тока должны иметь жесткую характеристику (тип ВС).

Наплавка ведется проволокой диаметром 1,25...2,0 мм на режимах: скорость подачи проволоки – 60...90 м/ч, ток – 120...180 А, шаг наплавки – 1,6...2,0 диаметра проволоки, амплитуда колебаний электрода – 1,5...2,0 мм, его вылет – 5...8 мм, скорость наплавки – 30...60 м/ч.

Этот способ применяют для наплавки цилиндрических деталей диаметром до 100 мм при износе не более 2 мм на сторону, работающих при незначительных динамических нагрузках. Его преимущества: возможность наплавки деталей небольших диаметров, так как при наплавке деталь нагревается незначительно и не подвергается деформации. Недостатки: значительное снижение усталостной прочности деталей (на 30...40%) и возможность появления микротрещин.

1.2. Специальные способы наплавки и сварки

В последние годы сформировалось новое направление в создании наукоемких технологий – гибридные способы сварки и наплавки, чему способствовали успехи достижений научно-технического прогресса посредством создания новых теоретических и технологических предпосылок в традиционных областях сварочных и наплавочных технологий. Дальнейшее совершенствование технологий наплавки и сварки необходимо, в первую очередь, для ремонта множества деталей узлов и механизмов машин, подвергающихся абразивному износу, что позволяет многократно увеличивать срок службы быстроизнашивающихся и тяжелонагруженных деталей, избавляет промышленность от производства большого количества запасных частей, повышает надежность и работоспособность машин и механизмов. Хорошие перспективы имеют способы наплавки, обеспечивающие минимальное проплавление основного металла: плазменно-порошковая, лазерная, электрошлаковая, микроплазменная и др.

Вибродуговая наплавка в газожидкостной среде

Одним из перспективных способов, улучшающих вибродуговую наплавку в части нивелирования значительного снижения усталостной прочности деталей (на 30...40%) и возможности появления микротрещин, является её реализация в газожидкостной среде (рис. 1.9). В отличие от наплавки в жидкости здесь атмосферный воздух вытесняется из зоны наплавки струей кислорода при низком давлении (0,02...0,04 МПа). Вместе с кислородом в зону наплавки постоянно подается небольшое количество воды (0,3 л/ч). Попадая в зону горения дуги, вода испаряется, а диссоциирующий из нее водород снижает окислительное действие кислорода.

Кислород подается к месту сварки из баллона 12 через редуктор 11, дозирующий жиклер 7 и газоподводящее сопло 2 под давлением. Вода поступает из напорного бака 5 через матерчатый фильтр 4 и дозирующий кран 6. Электродная проволока с кассеты 10 подается к наплавляемой детали 1 через трубку в мундштуке 3 подающим механизмом 9 вибродуговой головки 8.

Наплавку осуществляют на постоянном токе обратной полярности. Источником тока 13 служит преобразователь ПСГ-500 с балластным реостатом. Для придания устойчивости дуге в сварочную цепь включают дроссель 14.

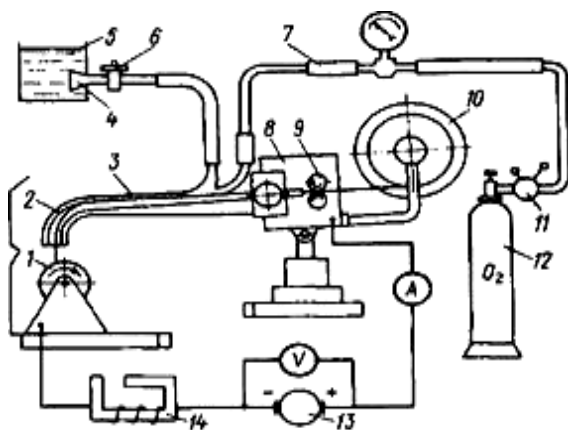


Рис. 1.9 – Схема установки для вибродуговой наплавки в газожидкостной среде:

1 – наплавляемая деталь; 2 – газоподводящее сопло; 3 – мундштук; 4 – матерчатый фильтр; 5 – напорный бак; 6 – дозирующий кран; 7 – дозирующий жиклер; 8 – вибродуговая головка; 9 – подающий механизм; 10 – кассета; 11 – редуктор; 12 – баллон; 13 – генератор; 14 – дроссель

Этот способ наплавки успешно применяют для восстановления ряда деталей, в том числе распределительных валов и шатунов двигателей. При этом долговечность их не уступает новым деталям, а стоимость ремонта на 30...40% ниже.

Плазменная наплавка

Плазменная наплавка является одним из новых перспективных способов, сущность процесса которого заключается в следующем (рис. 1.10): присадочный металлический порошок вдвигается несущим газом в электрическую дугу (непереходящая дуга), которая оплавляет порошок и переносит на поверхность детали, оплавленную электрической дугой (переходящая дуга). Присадочный порошок готовят из сплавов на основе

никеля (*Ni*), кобальта (*Co*) и железа (*Fe*). Переходящая дуга горит между вольфрамовым электродом и внутренним соплом плазменной горелки, образуя высокотемпературную плазменную струю (температура 16 000...24 000° С), представляющую собой газ высокой степени ионизации, обладающий электропроводностью и высокой температурой. Плазменную струю получают путем нагрева плазмообразующего газа в электрической дуге, горячей в закрытом пространстве – плазменной горелке или плазмотроне. Образование плазмы происходит в специальной плазменной головке ИМЕТ-107, которая состоит из корпуса, электрододержателя, сопла для подачи защитного газа, водоохлаждаемого сопла. При работе в горелке движутся три потока газа: плазмообразующий (аргон), несущий и защитный (аргон, гелий, азот). Первый защищает электрод от окисления, стабилизирует и сжимает дугу; второй – подает присадочный порошок в горелку и вдвухает его в дугу; третий – защищает наплавляемый металл от окисления.

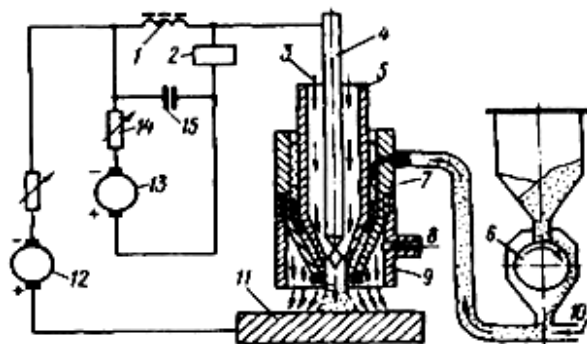


Рис. 1.10 – Схема установки для плазменной наплавки с вдвуханием порошка в дугу:

1 – дроссель; 2 – осциллятор; 3 – плазмообразующий газ; 4 – вольфрамовый электрод; 5 – внутреннее сопло горелки; 6 – питатель для подачи порошков; 7 – наружное сопло; 8 – защитный газ; 9 – защитное сопло; 10 – несущий газ; 11 – наплавляемая деталь; 12 – источник питания переходящей дуги (ПС-500); 13 – источник питания непереходящей дуги (ПС-300); 14 – балластный реостат; 15 – конденсатор

Источником питания непереходящей дуги служат преобразователи ПСУ-500, ток в дуге 16...25 А при напряжении 10...12 В. Для питания переходящей дуги используют преобразователь ПСО-300, ток до 130 А.

Достоинства этого способа: возможность наплавлять различные сплавы, хорошее качество наплавленного металла и высокая производительность процесса (6 кг/ч).

Плазменная сварка

Плазменный вид сварки изделий – это сваривание при помощи специально направленной плазменной дуги, имеющий много общего со сваркой аргоном. Принятое название для сварки плазмой – PlasmaArcWelding. Плазмой принято называть газ, который предварительно прошел ионизацию и который состоит из нейтральных молекул. Кроме того, такой газ имеет ионы и электроны, которые заряжены электрически. Учитывая это, даже обычную электродугу можно назвать плазменной. Но при этом заметим, что если говорить о стандартной сварочной дуге, то в ее отношении данный термин применять не принято, так как температура электродуги намного меньше, а также меньше энергия, чем у той, которую считают плазменной.

Для того чтобы дуга из стандартной электрической стала плазменной, т. е. повысилась ее мощность и температура, осуществляют два процесса: а) газ вдувают принудительно для плазмообразования и б) производят сжатие дуги (рис. 1.11).

Для сжатия дуги применяется специальное устройство, носящее название плазмотрон. В процессе работы стенки этого плазмотрона интенсивно охлаждаются водой. Устройство работает на уменьшение поперечного сечения дуги, что, в свою очередь, увеличивает ее энергию, мощность и пр. Температура стандартной дуги составляет около 5000 °С, а в плазменной дуге она поднимается до 30 000 °С.

Одновременно с сжатием электродуги в её зону принудительно вдувают специальный плазмообразующий газ. Под действием температуры электродуги он нагревается и ионизируется. В результате этого процесса используемый газ расширяется

примерно в 50...100 раз и начинает истекать из сопла, а кинетическая энергия дополняет тепловую, которая выделяется в результате происходящих электрических процессов. По этой причине плазменная дуга в разы мощнее обычной.

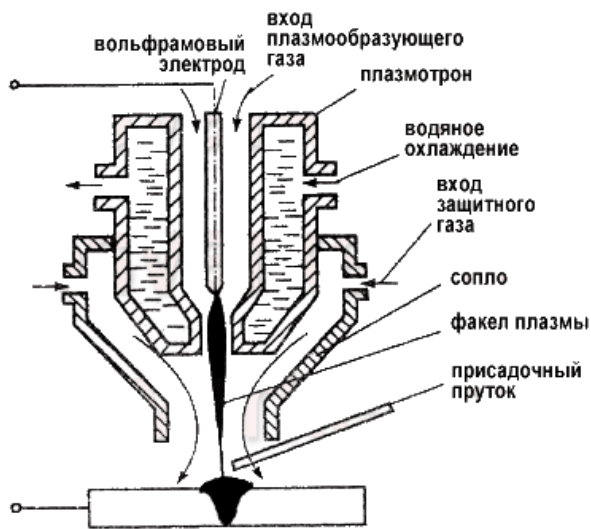


Рис. 1.11 – Схема плазменной сварки

Главные черты, которыми отличаются плазменная и обычная дуга: меньший диаметр дуги; куда более высокая температура; дуга имеет куда более высокое давление на металл; в отличие от конической обычной дуги, она имеет цилиндрическую форму; дуга может поддерживаться на малой силе тока. Перечисленные черты плазменной дуги делают её значительно эффективнее.

Обеспечивая более высокую температуру нагрева, плазменная сварка обладает большими возможностями, в сравнении с обычной дуговой сваркой. Форма проплавления для плазменной дуги отличается от формы проплавления для обычной дуги большей глубиной (рис. 1.12).

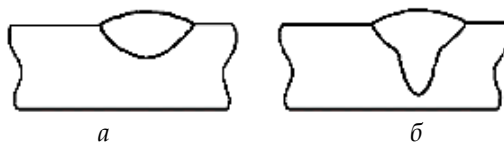


Рис. 1.12 - Форма проплавления для обычной (а) и для плазменной (б) дуги

Эти виды сварки дают разную форму проплавления из-за того, что плазменная дуга является куда более интенсивным источником тепла, так что можно, не проводя раздела кромок металла, сваривать очень большую толщину. Также, плазменная сварка металла может проводиться при колебании расстояния от горелки до самого изделия.

Возможны следующие варианты плазменной сварки:

- Сварка дугой из плазмы, когда дуга горит между самым свариваемым изделием и неплавящимся электродом.
- Дуга из плазмы горит между соплом плазмотрона и неплавящимся электродом, при этом плазменная струя выдувается при помощи потока газа.

Чаще всего при сварке используется аргон, он же является защитным газом. Электрод изготавливают из вольфрама, а также из гафния или меди.

В зависимости от того, какая сила тока применяется, плазменная сварка металла может быть нескольких видов:

- Микроплазменная сварка (где ток силой 0,1... 25 А).
- Сварка на токах средней величины (50... 150 А).
- Сварка на токах большой величины (более 150 А).

На сегодня наиболее распространенной является микроплазменная сварка. Газ в плазмотроне имеет очень большую степень ионизации, применяемые электроды - из вольфрама. При таких условиях плазменная дуга может гореть и на минимуме силы тока величиной 0,1 А. Непрерывный источник питания позволяет создать дугу между электродом и водоохлаждающим соплом из меди. Когда изделие подводится к плазмотрону, в нем загорается дуга, а плазмообразующий газ передается через сопло. Сопло плазмотрона обычно имеет диаметр

0,5...1,5 мм. При этом защитный газ подается через специальное керамическое сопло, а сам плазмотрон охлаждается водой.

Сварка на токах средней величины (50... 150 А) находит применение при комбинированном использовании совместно со способом замены изношенной части детали, когда изношенную часть отрезают от детали и изготавливают новую, приваривая ее к оставшейся части детали. Таким способом, например, ремонтируют полуоси с изношенными или обломанными шлицами, ведущий фланец гидротрансформатора и фланцы гидромеханической передачи (с изношенными шлицами) и т. д. Изношенную или обломанную часть полуоси отрезают, выдерживая перпендикулярность торца и осевой линии полуоси в пределах 0,5...1 мм. В торце полуоси (рис. 1.13) высверливается центрирующее отверстие и разделяется фаска под сварку. Новую шлицевую часть полуоси запрессовывают в реставрируемую часть, центрируют и сваривают вкруговую, после чего производится местный отпуск с нагревом детали до 300...500 °С. После снятия напылов от сварки реставрированная полуось проверяется на биение в центрах.

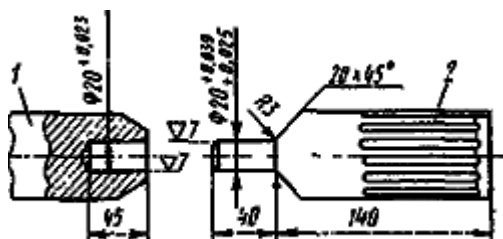


Рис. 1.13 – Ремонт полуоси [1]:
1 – реставрируемая полуось, 2 –
новая шлицевая часть полуоси

Сварка вольфрамовым электродом имеет особенности и отдельные преимущества. Вольфрам – наиболее тугоплавкий из всех применяемых для изготовления электродов металлов. Температура его плавления составляет 3422 °С. Вследствие этого расход электродов при выполнении аргоновой сварки сводится к минимальным значениям. Вести такую сварку можно как в

ручном, так и в полуавтоматическом или автоматическом режиме. При этом можно вообще не применять присадку, используя в качестве материала для формирования сварного шва металл с расплавляемых кромок детали. Такой подход еще больше повышает экономичность сварочных работ.

Одним из главных условий получения качественного и точного сварного шва является тщательная подготовка кромок и сборка свариваемых деталей. Особенно важно это в том случае, если ведется соединение заготовок из тонколистового металла. Здесь необходимо произвести предварительную сборку изделия с помощью прихваток, выполняемых тем же вольфрамовым электродом. При промышленном производстве в этом случае обычно используются специальные сборочные станки. Еще одно важное условие – это вытеснение воздуха из зоны сварки. Для этого работы ведутся в среде защитных газов (чаще всего аргона). Количество необходимого газа зависит от многих факторов: от толщины металла, от его химического состава, от размера свариваемых деталей, от типа сварного соединения. Кроме того, на расход газа влияет и скорость сварки – чем быстрее она ведется, тем более мощным должен быть защитный газовый поток. Важно, чтобы под действие аргона попадала вся сварочная ванна, а также разогретый конец присадки (если она применяется) и сам электрод.

Существенной особенностью сварки при помощи вольфрамового электрода является то, что зажигание дуги требуется производить без прикосновения его конца к металлу свариваемого изделия. Сделать это можно при помощи осциллятора. Дело в том, что в момент зажигания дуги при контакте электрода и основного металла вольфрам на его конце сплавляется с металлом, то есть появляется состав, температура плавления которого гораздо ниже, чем у чистого вольфрама. А это приводит к снижению качества сварного соединения. Также очень важно правильно выбрать сварной ток – это позволит свести к минимуму расход электрода при сварке и надолго сохранить форму заточки его конца.

Выбор технологии проведения сварки зависит от того, выполняется ли она ручным способом (рис. 1.14) или в автоматическом режиме. При ручной сварке необходимо соблюдать следующие требования:

- сварка производится по направлению справа налево;
- при сварке изделий небольшой толщины горелка располагается под углом в 60 градусов к поверхности свариваемого изделия;
- если сварке подвергаются детали большой толщины, горелка располагается как при сварке угловых швов, то есть под углом в 90 градусов к поверхности детали;
- способ введения присадочного прутка также зависит от толщины изделия. Если речь идет о деталях из тонколистового металла, пруток вводится сбоку от столба дуги при совершении возвратно-поступательных колебаний. При сварке же значительных по толщине деталей движения прутка должны быть поступательно-поперечными.

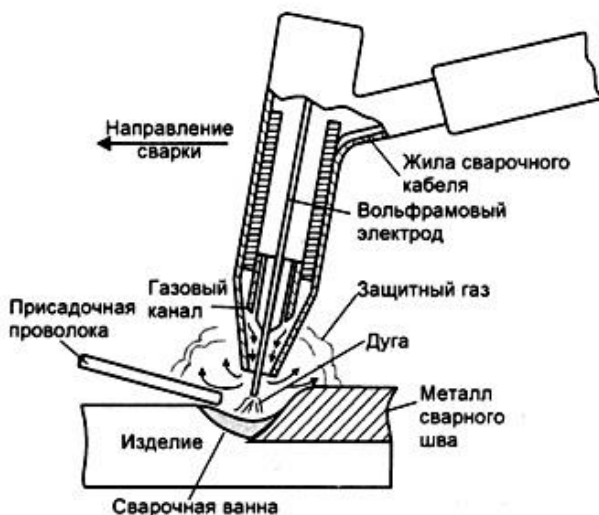


Рис. 1.14 – Схема сварки вольфрамовым электродом в среде защитного газа

Если сварка выполняется в автоматическом или полуавтоматическом режиме, то направление выбирается таким образом,

чтобы присадочный пруток шел перед дугой. При этом вольфрамовый электрод должен располагаться под углом в 90 градусов к поверхности свариваемых заготовок. Угол между электродом и присадочным прутом также должен быть прямым.

Аргонодуговая сварка алюминия вольфрамовым электродом

Аргонодуговая сварка применяется сегодня при выполнении неразъемного соединения деталей из самых разных металлов: стали, никеля, меди, а также их сплавов. Но наибольшую популярность она получила при сварке алюминиевых изделий, особенно если речь идет об изготовлении ответственных конструкций машиностроения.

Теоретические рекомендации сводятся к тому, что сварка алюминия вольфрамовым электродом должна вестись на постоянном токе обратной полярности (с «плюсом» на электроде). Но практика показывает, что в данном случае добиться устойчивого, ровного горения дуги практически невозможно. А это приводит к тому, что кромки свариваемых деталей расплавляются недостаточно хорошо, а расход дорогостоящего вольфрамового электрода увеличивается в разы. Именно поэтому чаще всего практикующие сварщики производят работы с алюминием на переменном токе нормальной частоты. В этом случае период сварки делится на два полупериода:

- в одном из них ток меньше, а на электроде находится «плюс»,
- в другом ток больше, а на электроде «минус».

В том полупериоде, когда электрод имеет положительный заряд, поверхность свариваемого металла очищается. Когда же электрод заряжен отрицательно, металл усиленно расплавляется, при этом нагрев самого вольфрама снижается. Свойство металла очищаться во время проведения сварки позволяет выполнять работы без применения специальных флюсов.

Некоторые нюансы аргонодуговой сварки вольфрамовым электродом следующие. Одно из важных условий для получения качественного сварного соединения – это стабильная дуга. Добиться от дуги непрерывного, ровного горения помогает постоянный ток прямой полярности. При этом значения тока могут

быть совсем небольшими – от 5 А, а напряжение – от 12 В. На постоянном токе производят сварку стали, меди, латуни, чугуна, титана и их сплавов. Большое значение при сварке на постоянном токе имеет заточка вольфрамового электрода – его конец должен быть острым и четко очерченным. При промышленной сварке электроды затачивают с помощью специального оборудования – станков с алмазным кругом. При их отсутствии возможно использование обычного точильного станка с мелкозернистым кругом. Заточка производится по направлению к концу электрода. При этом необходимо внимательно следить за тем, чтобы электрод в процессе подготовки не перегрелся. Превышение температуры вольфрама выше допустимых значений делает его очень хрупким – такой электрод будет просто крошиться в процессе сварки.

Кроме того, для выполнения аргонодуговой сварки необходимо защитный газ высокой чистоты – в нем должно содержаться не менее 99,99% аргона. В противном случае говорить о высоком качестве сварного шва не придется. Кстати, именно сварной шов поможет определить качество аргона – если газ содержит большое количество посторонних примесей, материал сварного шва будет темнеть. Использование аргона надежно защищает изделия от появления на их поверхности в процессе сварки оксидной пленки. Но при этом оксиды, которые находились на металле изначально, аргон не удаляет. Поэтому до начала сварки необходимо тщательно зачистить кромки свариваемых заготовок.

Сварку алюминия и его сплавов, как уже упоминалось, ведут на переменном токе. Заточка электрода здесь также имеет большое значение. Правда, в этом случае электрод не оттачивается остро, как жало – достаточно немного закруглить его конец. Перед сваркой алюминия, кроме того, очень важно правильно подготовить детали и точно подобрать присадочный материал. Что касается подготовки, то это, в первую очередь, зачистка и обезжиривание свариваемых поверхностей, а также снятие с них фаски, если детали выполнены из толстого металла. В качестве присадки при сварке вольфрамовым электродом алюминия может выступать как чистый алюминий (Al 99%), так и его сплавы –

силумин (сплав алюминия с кремнием $Al-Si$) или дюраль (сплав алюминия с магнием $AlMg$) [3].

Электроконтактная наплавка

Электроконтактная наплавка (рис. 1.15) используется преимущественно для восстановления изношенных валов. Установка содержит блок питания, применяемый для обычной контактной сварки, и оснастку из двух медных роликов с устройствами для их упругого поджима к вращающемуся валу. В процессе восстановления изношенного вала на него навивается стальная проволока или лента, периодическими импульсами тока привариваемая к валу. Для уменьшения нагрева детали и улучшения закалики привариваемого слоя в зону сварки подают охлаждающую жидкость. Способ восстановления деталей контактными электроимпульсными покрытиями широко применяют для восстановления посадочных мест под подшипники в корпусных деталях и валах, а также резьбовых частей валов. Для восстановления и упрочнения деталей перспективной является приварка к изношенным поверхностям порошковых твердых сплавов [4].

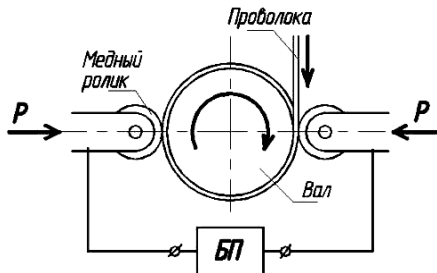


Рис. 1.15 – Схема электроконтактной наплавки

При контактной сварке металл прогревается на малую глубину, что обеспечивает неизменность его химического состава и отпадает необходимость в применении флюсов и защитных газов.

При изготовлении электродов применяют специальные медные сплавы БрХ1, БрВНТ1 и др.

Установка 011-1-02М работает в полуавтоматическом режиме и позволяет восстанавливать детали диаметром 20...250 и дли-

ной до 1250 мм. За один проход может быть приварен слой толщиной 0,15...1,5 мм. Частота вращения шпинделя 0...20 об/мин, скорость рабочего перемещения сварочной головки 0,000075...0,075 м/с, производительность 60...80 см²/мин, максимальная потребляемая мощность 75 кВт.

Преимущества электроконтактной наплавки:

- высокая производительность при наплавке слоя 1,5... 2,0 мм;
- благоприятные санитарно-производственные условия;
- малый нагрев детали.

Недостатки электроконтактной наплавки:

- некоторое снижение усталостной прочности детали;
- неоднородность свойств по участкам получаемой поверхности.

До сегодняшнего дня электроконтактная наплавка при восстановлении деталей автомобилей находит ограниченное применение из-за недостаточно отработанной конструкции технологического оборудования.

Лазерная сварка и наплавка

Лазерная сварка и наплавка основаны на использовании одной технологии – источником требуемого нагрева служит излучение с высокой концентрацией энергии. Поэтому в некоторых случаях восстановление изношенных или поврежденных деталей производят наплавлением с помощью лазерной сварки (рис. 1.16). Присадочный материал в порошка, проволоки или прутка, как правило из того же материала, что и изделие, расплавляется и заполняет скол или распределяется по поверхности [5-6].

Создание покрытий с помощью боковой подачи газопорошковой смеси – наиболее распространенный до недавнего времени способ лазерной наплавки (рис. 1,16, а). Впрыск порошка в жидкую ванну качественно изменяет процесс наплавки, позволяя создавать как равномерные по толщине и химическому составу покрытия, так и композитные материалы с сохранением упрочняющей фазы. Подача газопорошковой струи может осуществляться и сбоку относительно движения луча, и навстречу. При этом формируемые валики будут иметь различную гео-

метрию. Недостатком метода является несимметричность подачи порошка относительно направления движения даже при создании покрытий сканированием лазерного луча в плоскости.

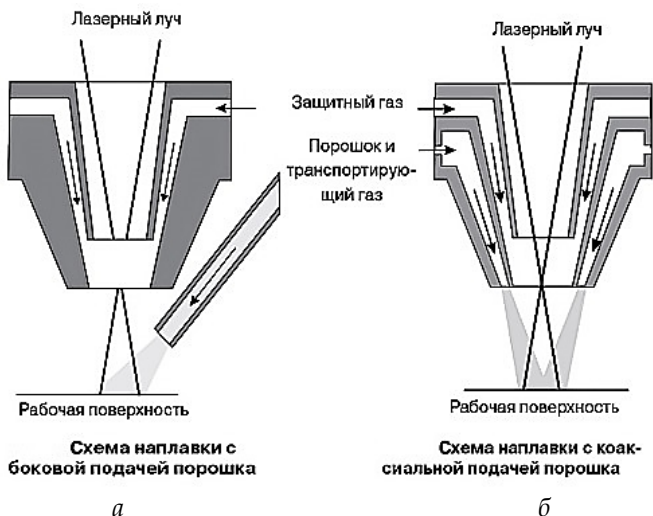


Рис. 1.16 – Схема лазерной наплавки с боковой (а) и коаксиальной (б) подачей порошка [6]

При коаксиальной наплавке (рис. 1,16, б) газопорошковый поток подается в зону воздействия лазерного излучения симметрично со всех сторон – сжимающимся в фокус конусом. Формирование такого симметричного равномерного конуса порошка – главная сложность этого метода. Коаксиальная наплавка – наиболее универсальный способ создания как однородных, так и композитных покрытий на плоских и трехмерных поверхностях. Процесс обеспечивает симметричность относительно направления наплавки, равномерность формирования валиков, высокие производительность и коэффициент использования присадочного материала в общем случае обработки сложных поверхностей. Сложность коаксиальной подачи газопорошковой смеси является главным недостатком системы коаксиальной наплавки.

Преимущества и возможности наплавки лазером обеспечивает специализированное оборудование, которое позволяет в производстве наносить композитные покрытия с повышенными

характеристиками: коррозионной стойкости; механическими; жаростойкости; износостойкости; антифрикционными; радиационной стойкости и др. Такие покрытия позволяют в современном машиностроении экономить металл, используемый при изготовлении деталей, снизить массу разрабатываемых конструкций. Для получения композиционного плакирования наплавкой используют чистые или композитные порошки (рис. 1.17), которые представляют собой смесь необходимого состава в каждой отдельной его частице. В соответствии с переносимыми нагрузками композиционные составы могут обладать различной архитектурой:

- для повышения износостойкости – мягкие антифрикционные компоненты в твердой матрице;
- для упрочнения поверхности – твердые компоненты в мягкой матрице;
- контактная прочность совместно с износостойкостью – высокопрочный каркас, который заполнен пластичным материалом;
- для снижения массы при сохранении прочности – равномерная смесь прочных легких компонентов с тяжелыми каркасообразующими.

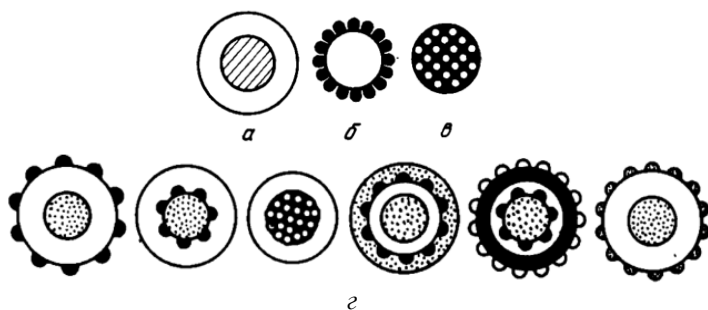


Рис. 1.17 – Типы строения частиц композиционных порошков:
a и *б* – плакированных; *в* – конгломерированных;
г – смешанных структур

При наплавке порошковых материалов следует учитывать грануляцию частиц, т. к. увеличение размеров частиц приводит

к росту твердости и износостойкости покрытия. Наиболее рациональной является смесь различных фракций: 40...100 мкм – 10 %, 100...280 мкм – 80 %, 280 мкм и более – 10 %.

У деталей, изготовленных из таких материалов, ресурс работы гораздо выше, чем у узлов из мономатериалов. Технология наплавки лазером очень перспективна в сфере прототипирования трехмерных деталей. В настоящее время разработаны и совершенствуются два основных направления создания объемных изделий из металлических порошков:

- Laser Metal Deposition (LMD) – прямое выращивание с помощью коаксиальной наплавки лазером;
- Selective Laser Melting (SLM) – выборочное спекание порошков лазером (послойная наплавка).

В ремонтной практике лазерная наплавка используется для восстановления:

- тарелок клапанов, кулачков распределительных и кулачковых валов (рис. 1.18);
- износа посадочных мест зубчатых колес, подшипников на валах, зубьев шлицевых креплений, поверхностей ступенчатого вала (включая шпоночные пазы);
- износа выпускных и впускных клапанов, золотников гидрораспределителей и др.



Рис. 1.18 – Наплавленные кулачки

Лазерным технологиям нет альтернативы в индустриально развитом обществе [7].

Контрольные вопросы

1. Какие основные задачи решаются при наплавке и сварке?

2. Какую роль играет поверхность изделия при наплавке и сварке?
3. Назовите основные схемы наплавки и сварки?
4. Назовите основные преимущества и недостатки наплавки плавящимся электродом в среде углекислого газа.
5. Назовите основные преимущества и недостатки наплавки плавящимся электродом под слоем флюса.
6. Назовите специальные способы наплавки и сварки.
7. Назовите основные преимущества и недостатки плазменной наплавки.
8. Назовите основные преимущества и недостатки вибродуговой наплавки в газожидкостной среде.
9. Назовите основные преимущества и недостатки аргонодуговой сварки алюминия вольфрамовым электродом.
10. Назовите основные преимущества и недостатки плазменной сварки.
11. Назовите основные преимущества и недостатки электроконтактной наплавки.
12. Назовите основные преимущества и недостатки лазерной сварки и наплавки.
13. В чем заключаются основные технологические особенности наплавки плавящимся электродом в среде углекислого газа?
14. В чем заключаются основные технологические особенности наплавки плавящимся электродом под слоем флюса?
15. В чем заключаются основные технологические особенности плазменной наплавки?
16. В чем заключаются основные технологические особенности лазерной сварки и наплавки?
17. В чем заключаются основные технологические особенности вибродуговой наплавки в газожидкостной среде?
18. В чем заключаются основные технологические особенности аргонодуговой сварки алюминия вольфрамовым электродом?
19. В чем заключаются основные технологические особенности электроконтактной наплавки?
20. Перечислите горючие газы, которые используют для напыления.

21. Приведите примеры установок газопламенной, плазменной, лазерной сварки и наплавки.

Глава 2. МЕТАЛЛИЗАЦИЯ

Нанесение расплавленного металла на поверхность детали путем напыления называется металлизацией. Процесс металлизации заключается в том, что расплавленный в специальном приборе-металлизаторе металл подхватывается струей воздуха или газа и мельчайшими частицами переносится на предварительно подготовленную поверхность детали. По способу плавления металла различают электродуговую, газопламенную, высокочастотную, детонационную, ионно-плазменную и плазменную металлизацию. Металлизация является наиболее распространенным методом восстановления изношенных поверхностей и заключается в нанесении на деталь покрытия без расплавления ее поверхностного слоя. Особое внимание уделяется подготовке детали к металлизации, так как от подготовительных операций во многом зависит прочность сцепления металлизированного слоя с основной деталью [1].

Покрытия наносятся на металлы, пластмассы, стекло, дерево, керамику и другие материалы, так как в процессе напыления температура изделия изменяется незначительно и обычно не превышает 150...200 °С, что выгодно отличает ее от наплавки. Для создания покрытий используются различные металлы, сплавы и их соединения (оксиды, нитриды, карбиды и др.). Толщина покрытия наружных поверхностей тел вращения может быть 0,3...10 мм и более без ухудшения прочности сцепления. При металлизации внутренних поверхностей деталей типа втулок предельной считается толщина 2,5...3,0 мм, т. к. при большей толщине возможно отслаивание покрытия под действием внутренних напряжений.

2.1. Электродуговая металлизация

Электродуговая (дуговая) металлизация (рис. 2.1) заключается в расплавлении электрической дугой исходного материала

и напылении его струей сжатого воздуха на поверхность детали. Через два канала в горелке непрерывно подают две проволоки, между концами которых возбуждается дуга и происходит расплавление проволоки. Расплавленный металл подхватывается струей сжатого воздуха, истекающего из центрального сопла электрометаллизатора и в мелкораспыленном виде переносится на поверхность основного материала.

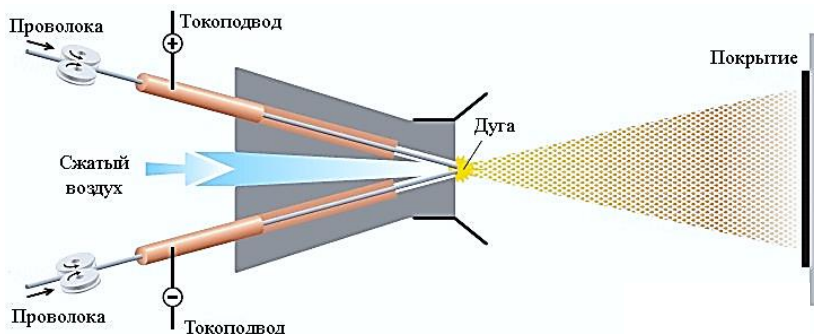


Рис. 2.1 – Схема дуговой металлизационной установки [8]

Распыление и транспортирование расплавляемого металла осуществляются обычно сжатым воздухом, хотя при напылении коррозионностойкой сталью и алюминиевыми сплавами используют азот. Размер распыляемых частиц колеблется в пределах 10...50 мкм. Скорость напыления с расстояния 30 мм от сопла 250 м/с. Толщина напыленного слоя составляет от 20 мкм до 20 мм. Для электродуговой металлизации используют аппараты ЭМ-3А, ЭМ-6, ЭМ-9, ЭМ-10.

При дуговом напылении на постоянном токе процесс протекает стабильно, обеспечивая получение слоя покрытия с мелкозернистой структурой при высокой производительности процесса, поэтому в настоящее время применяют источники постоянного электрического тока со стабилизатором напряжения или источники со слегка возрастающей характеристикой.

Дуговая металлизация обладает следующими преимуществами. Применение мощных электрометаллизационных установок (электродуговой металлатор ЭМ-17, ЭМ-19) позволяет значительно повысить производительность процесса и сократить затраты времени. При силе тока 750 А можно напылять стальное покрытие с производительностью 36 кг/ч, а при силе тока 500 А – цинковое покрытие с производительностью 1,2 кг/мин, что в несколько раз превышает производительность газопламенного напыления. Кроме этого основного преимущества (высокой производительности в среднем 3...14 кг напыляемого металла в час) электродуговому напылению еще присущи:

- высокая температура электрической дуги, что позволяет наносить покрытия из тугоплавких металлов;
- при использовании в качестве электродов проволок из двух различных металлов возможность получения покрытий из них в виде сплава;
- сравнительная простота применяемого оборудования, а также небольшие эксплуатационные затраты.

К числу недостатков электродугового напыления относится опасность перегрева и повышенного окисления напыляемого материала при малых скоростях подачи распрыскиваемой проволоки. Кроме того, большое количество теплоты, выделяющейся при горении дуги, приводит к значительному выгоранию легирующих элементов, входящих в состав напыляемого материала (например, содержание углерода в материале покрытия снижается на 40...60 %, а кремния и марганца – на 10...15 %). Оно формирует покрытия с пониженной плотностью.

2.2. Газопламенная металлизация

Газопламенная металлизация (напыление) осуществляется при помощи специальных аппаратов, в которых плавление напыляемого металла в виде металлического стержня (рис. 2.2) или порошкового материала (рис. 2.3) производится ацетилено-кислородным пламенем или пламенем других горючих газов в смеси с кислородом, а его распыление – струей сжатого воздуха. Нагрев

присадочного материала при газопламенном напылении (металлизации) осуществляется за счет теплоты, выделяемой в результате сгорания различных горючих газов (ацетилен, пропан-бутана, природного газа и др.) в среде кислорода [10].

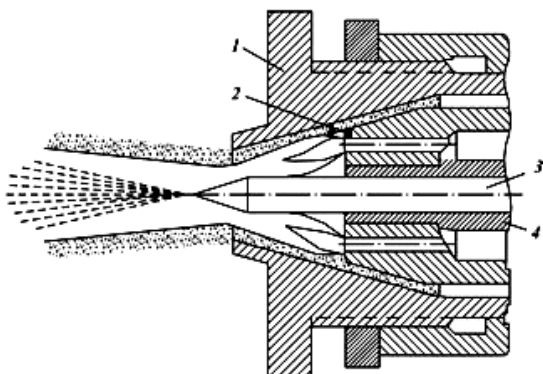


Рис. 2.2 – Схема стержневого распылителя [10]:

- 1 – воздушное сопло; 2 – газовое сопло;
- 3 – пруток; 4 – направляющая трубка

В качестве стержневого присадочного материала используют прутки, проволоки и шнуровые материалы.

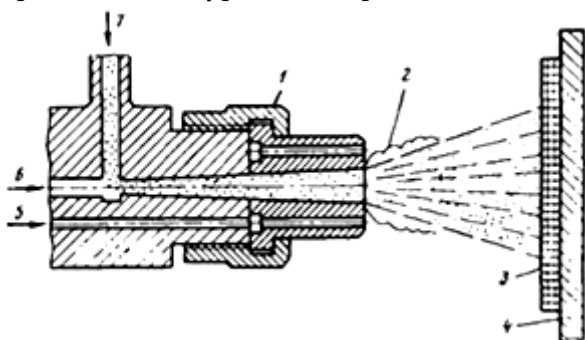


Рис. 2.3 – Распылительная головка порошкового аппарата газопламенного напыления (металлизации) [1]:

- 1 – сопло; 2 – факел газового пламени; 3 – напыляемое покрытие; 4 – напыляемая поверхность; 5 – канал подвода кислорода O_2 и горючего газа; 6 – транспортирующий газ; 7 – напыляемый порошок

Из горючих газов наибольшее применение получил ацетилен, сгорание которого в смеси с кислородом позволяет получать температуру пламени порядка 3100...3200 °С, что на 500...800 °С выше температуры всех его заменителей (табл. 2.1). В зависимости от соотношения горючего вещества и кислорода газовое пламя подразделяют на: окислительное – с избытком кислорода; нормальное – при паритетном соотношении горючего вещества и кислорода; восстановительное – с избытком горючего газа (ацетилена, пропан-бутана, природного газа и др.) [10]. Тип газового пламени, используемый при напылении, выбирается в зависимости от химического состава напыляемого металла (табл. 2.2).

Таблица 2.1

Термодинамические характеристики газовых смесей

Параметры	Горючий газ				
	Ацетилен C ₂ H ₂	Водород H ₂	Метан CH ₄	Пропан C ₃ H ₈	Бутан C ₄ H ₁₀
Теплотворная способность, кДж/м ³	52 800	10 060	33 520	37 150	116 480
Температура пламени в смеси с кислородом, °С	3100–3200	2100–2500	2000–2700	2400–2700	2400–2700
Удельный расход кислорода, м ³	2,5	0,5	2,03	5,15	6,8

Таблица 2.2

Характеристики газопламенного напыления

Распыляемый материал	Дистанция напыления, мм		Вид пламени
	Ручная	Механизированная	
Нержавеющая сталь	80...150	150...250	Нейтральное
Высокоуглеродистая сталь	180...200	250...300	Нейтральное
Бронза	100...150	180...250	Слегка окислительное
Алюминий	100...150	180...250	Слегка восстановительное
Цинк	280...360	400...500	Нейтральное

Молибден	80...130	200...300	10% - окислительное
----------	----------	-----------	---------------------

Прутковые материалы используются при напылении керамики. Прутки изготавливают из оксидов или карбидов металлов со связующим на жидком стекле диаметром до 8,0 мм. Содержание частиц твердых фаз в прутке может достигать 95 %. При нагреве прутка связующее выгорает, а зерна твердой фазы подаются на поверхность изделия. Основным недостатком использования керамики является прерывистость процесса, влияющая на качество поверхности покрытия. Наряду с прутковыми материалами используются и трубчатые полые стержни, заполненные зерновым релитом.

Распылитель для прутковых материалов имеет дополнительное воздушное сопло, направляющее воздух в радиальном направлении в зону плавления керамического стержня, где осевая скорость частиц невелика. «Загибающий» воздух дробит относительно крупные (100...160 мкм) расплавленные частицы на более мелкие (20...40 мкм) и направляет их под углом 45...50° к поверхности изделия. Дистанция напыления составляет 50 мм. Осевое расположение распылителя и малая дистанция напыления позволяли наносить покрытия на внутреннюю поверхность трубы диаметром 100 мм.

Проволока для напыления применяется диаметром от 0,8 до 2,0 мм и изготавливается из различных материалов (коррозионностойкие и углеродистые стали, латуни, бронзы, баббиты, *Al*, *Cu*, *Mo*, *Zn*, *Sn*, *Pb*, сплавы на никелевой (*Ni*) и кобальтовой (*Co*) основах). Производительность напыления (металлизации) проволокой из цветных металлов – до 15 кг/ч, из стали и сплавов – до 9 кг/ч. Расход кислорода – 50 л/мин, расход ацетилена или пропана – до 20 л/мин. Давление воздуха – 0,5 МПа.

Мощность пламени выбирают в зависимости от размеров детали. При напылении стальных деталей применяют восстановительное (нормальное) или науглероживающее (с небольшим избытком ацетилена) пламя. Перед началом напыления деталь подогревают до температуры 50...100 °С. В процессе напыления

необходимо следить, чтобы поверхность напыляемой детали не нагревалась выше 250 °С. Температуру можно контролировать с помощью термочувствительных карандашей.

В технологическом режиме при газопламенном напылении вершин кулачков стального распределительного вала с одновременным оплавлением покрытия применяют материал ПГ-10Н-01 грануляцией 40...100 мкм. Расход порошка составляет 2.5...3.5 кг/ч. Горючий газ — ацетилен — подают под давлением не менее 0,1 МПа (расход его 350...600 л/ч). Кислород поступает под давлением 0,30...0,45 МПа (расход его 350...600 л/ч). Расстояние между мундштуком горелки и поверхностью детали при напылении покрытия 12...25 мм, при оплавлении 6...10 мм.

При газопламенном проволочном напылении в получаемом покрытии содержится меньше оксидов, чем при порошковом напылении. Это имеет особо важное значение для получения коррозионностойких покрытий с низкой пористостью. Для снижения степени окисления присадочного материала камеру сгорания приближают к выходному отверстию сопла. Однако относительно малая скорость движения частиц при газопламенном напылении проволокой не обеспечивает формирования высокоплотного покрытия.

В последние десятилетия наряду с проволоками все большее применение находят шнуровые присадочные материалы, состоящие из органического связующего, составляющего оболочку, и порошкового наполнителя, включающего высокотвердые компоненты и соединения, обеспечивающие протекание экзотермических реакций и синтезирование новых фаз в процессе напыления. Это позволяет повысить показатели адгезионной и когезионной прочности. Прочность и эластичность гибких шнуров позволяет пользоваться ими так же, как и проволокой и наносить покрытия с помощью газопламенных аппаратов проволочного типа. В шнуровых материалах используют порошковые наполнители на основе самофлюсующихся сплавов систем $Ni(Co)-Cr-B-Si$ и в смесях с карбидом вольфрама или оксидами алюминия, титана, хрома, циркония. Шнуры производятся диаметром от 4,0 до 7,0 мм и размером зерен литого карбида вольфрама в диапазоне

от 0,1 до 2,5 мм, причем для конкретных видов изнашивания применяются специальные комбинации мелкозернистого и крупнозернистого карбида вольфрама. Равномерное распределение зерен карбидов в порошковом шнуре обеспечивает наиболее благоприятное их расположение на напыляемой поверхности, что приводит к повышению износостойкости наплавленного слоя (рис. 2.4).



Рис. 2.4 – Технология ручной газопламенной наплавки шнурового материала «Сфекорд-НР» [10]

Напыление порошками позволяет в широких пределах регулировать состав наносимых покрытий. В зависимости от места подвода порошка в горелку и его транспортирования в зону пламени газопорошковое напыление подразделяют на два способа.

Порошок из питателя (см. рис. 2.3 на стр. 42) поступает в центральный канал горелки, захватывается транспортирующим газом и подается в факел ацетиленокислородного пламени, струей которого оплаивается и направляется на поверхность детали, образуя заданный слой покрытия. Порошковая струя окружена кольцом пламени. При перемешивании струй пламени и газопорошковой взвеси происходит теплообмен. Частицы нагреваются до температуры плавления и переносятся на поверхность детали.

Во втором способе (с внешним вводом порошка) порошок из бункера (рис. 2.5) подается с внешней стороны мундштука в зону

пламени, где его частицы оплаваются и направляются газовым потоком на поверхность напыляемой детали.

Применение при первом способе напыления транспортирующего газа, обычно инертного, для подачи порошка позволяет уменьшить его окисление, однако усложняется схема подачи и конструкция газовой горелки. Второй способ характеризуется большей простотой оборудования и облегчается выбор оптимального режима.

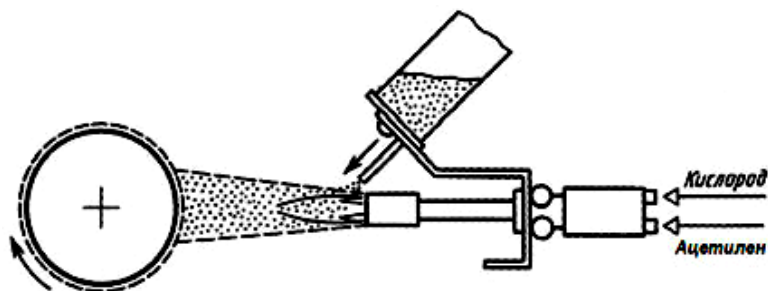


Рис. 2.5 – Схема газопламенного напыления с внешним вводом порошка [10]

Наиболее качественные покрытия получают при первоначальном напылении подслоя термореагирующим порошком толщиной 0,05-0,15 мм, а затем основного слоя износостойким порошковым сплавом толщиной 2 мм. Подслой и основной слой наносят при одних и тех же режимах напыления:

- давление кислорода 0,35...0,45 МПа;
- давление ацетилена 0,03...0,05 МПа;
- расход кислорода 960...1100 л/ч;
- расход ацетилена 900...1000 л/ч;
- расстояние от среза сопла мундштука до напыляемой поверхности 160...200 мм;
- продольная подача 3...5 мм/об;
- расход порошка 2,5...3 кг/ч.

Процесс газопламенного напыления (металлизации) можно проводить с одновременным оплавлением, что возможно лишь газовым пламенем. Плазменная струя из-за интенсивного нерав-

номерного нагрева напыленного слоя не обеспечивает получения качественного покрытия. Напыление с одновременным оплавлением рекомендуется выполнять в такой последовательности:

- подогреть всю деталь до температуры 250...300 °С;
- на восстанавливаемые поверхности для их защиты от последующего окисления напылить слой толщиной 0,2...0,3 мм;
- напыленный участок поверхности нагреть до состояния «запотевания», что характерно для процесса оплавления;
- на предварительно оплавленный слой нанести новый, доводя его до состояния оплавления.

В процессе оплавления важно не допустить перегрева напыленного слоя до состояния жидкой ванны, а после оплавления обеспечить медленное охлаждение детали (в песке, асбесте, печи). Перегрев приводит к стеканию металла, образованию пор, а быстрое охлаждение – к возникновению трещин, отслаиванию сформированного покрытия. Для восстановления деталей этим способом наиболее рационально применять порошковые сплавы ПГ-ЮН-01, ПГ-ЮН-03, ПГ-СР3, ПГ-СР4. Толщина напыленного слоя может достигать до 3 мм.

Высокоскоростное порошковое напыление

В начале 80-х годов прошлого века появилось высокоскоростное газопламенное напыление (ВСПН, рис. 2.6 [10]), которое характеризуется скоростью газового потока до 1000 м/с.

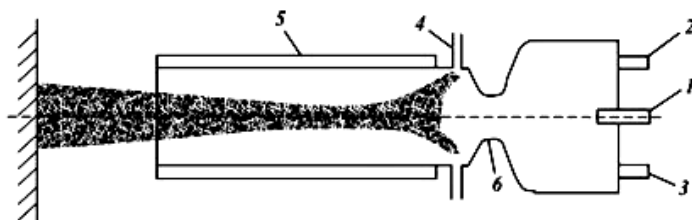


Рис. 2.6 – Схема высокоскоростного порошкового распылителя:
1 – подача порошка (осевая); 2 – подача кислорода; 3 – подача топлива; 4 – подача порошка (радиальная); 5 – ствол

Плотность покрытий при таком способе порошкового напыления достигает 99 %. Увеличение скорости частиц при меньшей

их температуре позволило снизить окисленность напыляемого металла и повысить плотность порошкового покрытия. В качестве наносимого материала используют порошки карбидов, металлокарбидов, сплавов на основе *Ni*, *Cu* и др. Для увеличения скорости частиц повышают скорость истечения продуктов сгорания путем повышения давления в камере сгорания до 1,0...1,5 МПа.

В порошковых распылителях ВСГН первого и второго поколений использовалось цилиндрическое сопло (рис. 2.7, а), а затем в конструкции соплового аппарата стало использоваться сопло Лавалья (рис. 2.7, б).

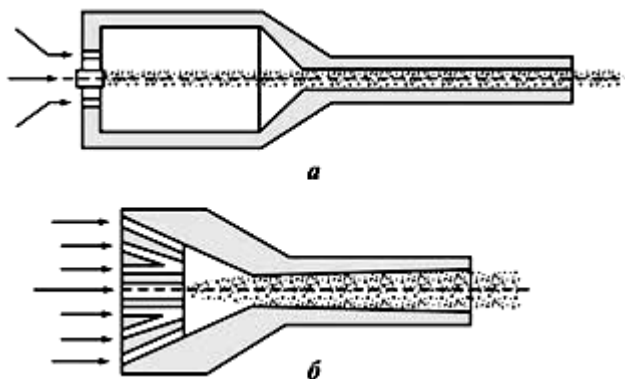


Рис. 2.6 - Сопла распылителя [10]:
а - цилиндрическое; б - расширяющееся (сопло Лавалья)

Для систем ВСГН первого поколения давление в камере сгорания составляло 0,3...0,5 МПа, скорость частиц – 450 м/с для порошковых смесей системы *WC-Co* с грануляцией 10...45 мкм. Для систем второго поколения давление в камере сгорания повысилось до 0,6...1,0 МПа, что привело к увеличению скорости движения частиц до 600...650 м/с. Расход порошка составил 10 кг/ч. В системах третьего поколения с применением расширяющихся профилей сопел Лавалья расход порошка достигает 18 кг/ч.

2.3. Высокочастотная металлизация

Высокочастотная металлизация основана на принципе расплавления проволоки в зоне индуктора, состоящего из нескольких витков медной трубки, к которому подается ток высокой частоты (200...50 кГц) от лампового генератора (рис. 2.8). Высокочастотная металлизация обеспечивает быстрый нагрев конца электродной проволоки, что уменьшает выгорание углерода и других элементов, делает покрытие однородным с пределом прочности на разрыв в 2,5 раза выше, чем при электродуговой металлизации. Недостатки: сложность и высокая стоимость оборудования. В качестве источников питания применяют ламповые генераторы токов высокой частоты ГЗ-46, ЛПП-30, ЛПЗ-60.

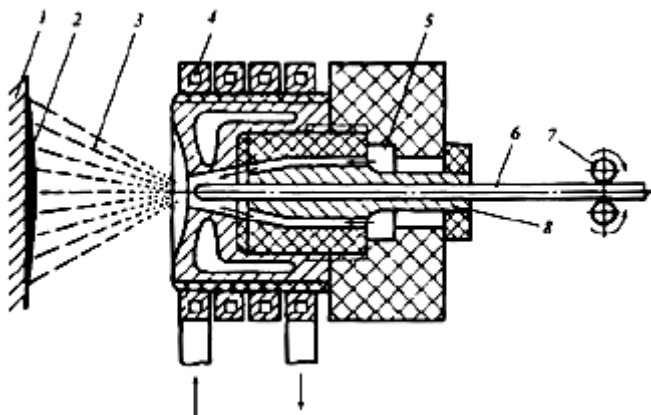


Рис. 2.8 – Схема распылительной головки высокочастотного металлизатора [1]

Сущность процесса высокочастотного индукционного напыления состоит в том, что присадочная проволока 6 с помощью подающих роликов 7 направляется в канал втулки 8 кольцевого индуктора 4, питаемого от генератора тока высокой частоты. По мере перемещения по каналу вылет проволоки попадает под действие индукционного тока, плавится на небольшом участке ее длины, а проходящая через воздушный канал 5 струя воздуха распыляет полученный объем жидкого металла на мелкие частицы 3 и переносит их на поверхность детали 1, формируя таким образом покрытие 2.

В качестве напыляемого материала применяют стальные проволочки диаметром 4...5 мм тех же марок, что и для электро-дуговой металлизации. По сравнению с электродуговым процессом высокочастотная металлизация уменьшает выгорание элементов, повышает плотность покрытий, но используемое оборудование более сложное и дорогое.

Если режим процесса выбран правильно, то при толщине покрытия 0,5...0,7 мм поверхностный слой детали нагревается до 70 °С; при толщине покрытий 2...3 мм и более температура этого слоя достигает 100...150 °С. Нагрев может явиться причиной возникновения высоких напряжений в полученном слое. Поэтому для их уменьшения покрытие наносят тонкими слоями отдельными участками. Так, при напылении шеек валов диаметром 150 мм и значительной длине этих шеек за один проход напыляют поверхность площадью не более 800...1000 мм².

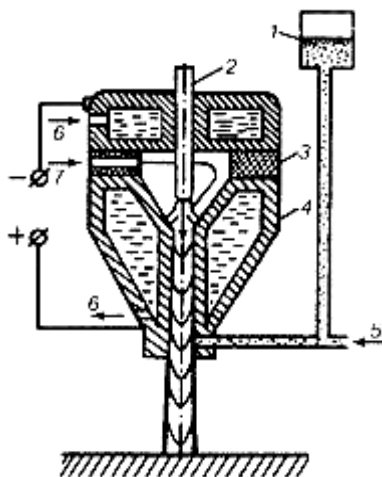
Преимуществами высокочастотного напыления являются небольшое окисление металла благодаря возможности регулирования температуры его нагрева и достаточно высокая механическая прочность покрытия.

К числу недостатков следует отнести сравнительно невысокую производительность процесса, а также сложность и высокую стоимость применяемого оборудования.

2.4. Плазменная металлизация

Плазменную металлизацию осуществляют с помощью плазматронов, в которых плазмообразующий газ (аргон) протекает сквозь столб электрического разряда, частично или полностью ионизируется и превращается в плазму (рис. 2.9). Плазматрон состоит из катода и анода, охлаждаемых водой. От источника постоянного тока между катодом и анодом возбуждается электрическая дуга. Плазмообразующий газ, введенный в зону горения, ионизируется и выходит из анода плазматрона в виде струи небольшого сечения. Высокая электропроводность плазменной струи значительно повышает плотность тока, температуру газа и скорость его истечения. Рабочая температура струи достигает 7000...15000 °С при скорости истечения до 1500 м/с.

Для плазменной металлизации используют установки УПУ-ЗМ, УМП-4-64, УМП-5-68, которые обеспечивают более высокие, чем при других способах металлизации, механические свойства покрытия и более прочное его соединение с поверхностью детали. Покрытие обладает высокой износостойкостью и не снижает усталостной прочности детали. За счет высокой температуры плазменной струи можно наносить покрытия



практически из любых материалов. Процесс полностью автоматизирован, что повышает производительность труда. При плазменной металлизации проволокой можно использовать газопорошковую среду, а порошок — в качестве присадочного материала. В качестве плазмообразующего газа при распылении порошка кроме аргона применяют азот, водород, гелий.

Рис. 2.9 – Схема процесса плазменного напыления [11]: 1 – порошок; 2 – катод; 3 – изоляционная прокладка; 4 – анод; 5 – транспортирующий газ; 6 – охлаждающая жидкость; 7 – плазмообразующий газ

Плазменное напыление — это такой способ нанесения металлических покрытий, при котором для расплавления и переноса металла на поверхность детали используются тепловые и динамические свойства плазменной дуги. В качестве плазмообразующего газа применяют азот. Азотная плазма имеет сравнительно невысокую температуру (до 10...15 тыс.°С), но обладает высокой энтальпией (теплосодержанием). Это объясняется тем, что процесс образования азотной плазмы имеет две стадии: диссоциацию и ионизацию. Обе стадии процесса получения плазмы протекают с поглощением тепловой энергии. Процесс получения аргонной плазмы имеет только одну стадию — ионизацию. Таким

образом, азотная плазма становится носителем большего количества тепловой энергии, чем аргонная. Высокая энтальпия азотной плазменной струи и низкая стоимость азота и обусловили его широкое применение в качестве плазмообразующего газа при плазменном напылении.

Исходный материал покрытия вводится в сопло плазмотрона в виде проволоки или гранулированного порошка.

Проволока в качестве напыляемого материала используется реже, так как при ее применении структура покрытия получается крупнозернистой, и, кроме того, не все материалы для напыления могут быть приготовлены в виде проволоки, поэтому при плазменном напылении в качестве присадочного материала применяют гранулированные порошки с размером частиц 50...150 мкм. Порошок в сопло плазмотрона подается из дозатора при помощи транспортирующего газа (азота). Дозатор определяет расход порошка и, следовательно, производительность процесса напыления. Расход порошка можно плавно регулировать в пределах 3...12 кг/ч. Попадая в плазменную струю, металлический порошок расплавляется и, увлекаемый струей, наносится на поверхность детали, образуя покрытие.

Свойства покрытия зависят от температуры нагрева частиц и скорости их полета при встрече с поверхностью детали. Скорость полета металлических частиц определяется в основном двумя факторами — силой тока дуги и расходом плазмообразующего газа. В зависимости от значения этих факторов она может достигать 150...200 м/с. Наибольшей скорости расплавленные частицы металла достигают на расстоянии 50...80 мм от сопла плазмотрона. Большая скорость полета частиц порошка и высокая температура их нагрева в момент встречи с подложкой обеспечивают более высокие, чем при других способах напыления, механические свойства покрытия и более прочное его соединение с поверхностью детали.

Режим плазменного напыления зависит от напыляемого материала и рекомендуется следующий:

- сила тока 350...400 А;
- напряжение тока 60...70 В;

- расход плазмообразующего газа 30...35 л/мин;
- расход порошка 5...8 кг/ч;
- расстояние напыления 125...150 мм.

Свойства плазменного покрытия могут быть значительно повышены, если после нанесения покрытия оплавить его плазменной струей, ацетилено-кислородным пламенем или токами высокой частоты. Износостойкость таких покрытий при напылении сплавом ПГ-ХН80СРЗ превышает износостойкость стали 45, закаленной до твердости HRC 54...58, в 2...3 раза. Прочность сцепления покрытия, нанесенного на сталь, после оплавления повышается в 8...10 раз и равна 400...450 МПа. Плазменная металлизация с оплавлением покрытия может быть применена для восстановления деталей, работающих со знакопеременными нагрузками.

Плазменное напыление имеет ряд особенностей, которые отличают процесс металлизации от других вариантов обработки металлических поверхностей: ускоренный процесс нанесения покрытий благодаря высокотемпературному (порядка 5000...6000 °С) воздействию на обрабатываемую поверхность. Технологически напыление может длиться доли секунд для получения необходимого результата. Плазменная обработка металлов позволяет создать на поверхности комбинированный слой: диффундировать можно не только металлические частицы, но и элементы газа из плазменной струи, в результате чего металл насыщается атомами нужных химических элементов. Традиционная металлизация протекает неравномерно и характеризуется длительностью технологического процесса и возможными окислительными реакциями. Струя высокотемпературной плазмы создает равномерную температуру и давление, обеспечивая высокое качество финальных покрытий. При помощи плазменной струи перенос частиц металла и атомов газа происходит мгновенно. Процесс относится к области сварки с применением порошков, стержней, прутков и проволоки. Перенесенные частицы образуют слой толщиной от нескольких микрон до миллиметров на поверхности твердого тела [12].

2.5. Ионно-плазменная металлизация

Ионно-плазменное напыление поверхности металлов, как современная разновидность диффузной металлизации, проводится с использованием высокотемпературной технической плазмы – совокупности большого количества частиц (квантов света, положительных ионов, нейтральных частиц, электронного газа). Под воздействием высокой температуры за счет электрических разрядов в газах происходит интенсивная термоионизация частиц, которые сложно взаимодействуют друг с другом и окружающей средой. Благодаря этому различают плазму, ионизированную слабо, умеренно и сильно, которая, в свою очередь, бывает низкотемпературной и высокотемпературной.

При этом способе ионно-плазменного напыления детали, на которые наносится покрытие, помещают в вакуумную камеру (рис. 2.10), в которой напыляемый металл за счет тепла электрической дуги переводится в плазменное состояние. Положительно заряженные ионы металлической плазмы перемещаются на поверхность деталей, являющихся катодом. В вакуумную камеру вводится реактивный газ (азот), взаимодействия которого с частицами металлической плазмы улучшает свойства покрытия.

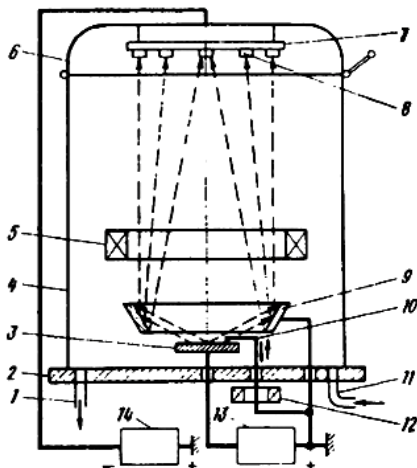


Рис. 2.10 – Схема установки ионно-плазменной металлизации

Установка установки ионно-плазменной металлизации состоит из вакуумной камеры 4, на столе 2 которой смонтированы: катод 3, изготовленный из напыляемого материала; кольцеобразный анод 9, расположенный концентрично катоду; соленоид 5 для ускорения движения потока плазмы к напыляемой детали 8; электрод 10 поджига электрической дуги с электромагнитным вибратором 12. На крышке 6 вакуумной камеры установлена касета 7, в которой крепятся детали. Питание установки производится от двух источников тока 13 и 14 напряжением в 1000 В.

При ионно-плазменной металлизации (напылении) деталей их устанавливают в вакуумную камеру 4 и создают в ней рабочий вакуум через патрубок 1, который соединен с вакуумным насосом. Подводят к катоду и аноду напряжение от источников питания. Электродом поджига 10 возбуждают электрическую дугу. Под действием дугового разряда материал катода переходит в плазменное состояние. Металлическая плазма под действием магнитного поля соленоида 5 ускоряется в ее движении к деталям, на которые подан отрицательный потенциал. При полете к деталям ионы металлической плазмы взаимодействуют с реактивным газом (азотом), который подводится через патрубок 11.

Ионно-плазменная установка применяется для упрочнения режущего инструмента путем нанесения покрытия из нитрида титана (TiN) и для повышения прирабатываемости и износостойкости поршневых колец за счет нанесения покрытия из нитрида молибдена (MoN).

Эта установка может быть применена также при восстановлении деталей с небольшим износом в пределах 10...15 мкм.

При проведении диффузной металлизации в вакууме, в атмосфере инертного газа или при пониженном давлении можно увеличить скорость движения частиц и получить более плотный и высокоадгезивный тип покрытий.

2.6. Детонационная металлизация

Детонационный метод напыления (металлизации) является одним из видов газотермического нанесения покрытий, использующих энергию горючих газов (в основном пропан-бутана) в

смеси с кислородом, а также со сжатым воздухом (азотом, аргоном). Детонационный метод, используя энергию взрыва газовых смесей, является циклическим процессом, обладает высокой удельной мощностью и значительным упрощением преобразования энергии в полезную работу.

Преимуществами детонационного метода являются: высокая адгезия покрытия (80...250 МПа); низкая пористость покрытия (0,5...1%); отсутствие деформации напыляемой детали.

К недостаткам следует отнести низкую производительность и недостаточную надежность существующего оборудования.

Технология детонационного метода напыления позволяет не только восстановить рабочие поверхности деталей, но и существенно повысить эксплуатационный ресурс за счет применения износостойких материалов. Детонационный метод позволяет наносить покрытия из металлов, их сплавов, оксидов и карбидов металлов, композиционных порошков (плакированных и конгломерированных), а также механических смесей.

Конструкции детонационных установок разработаны с внутренним и внешним смесеобразованием. В первом случае роль камеры для образования горючей смеси выполняет ствол; во втором – в ствол подается горючая смесь, подготовленная в смесителе [1; 9; 11].

Детонационная установка с внутренними смесеобразователями представляет собой водоохлаждаемый ствол длиной 1...1,8 м с внутренним диаметром от 10 до 40 мм (рис. 2.11).

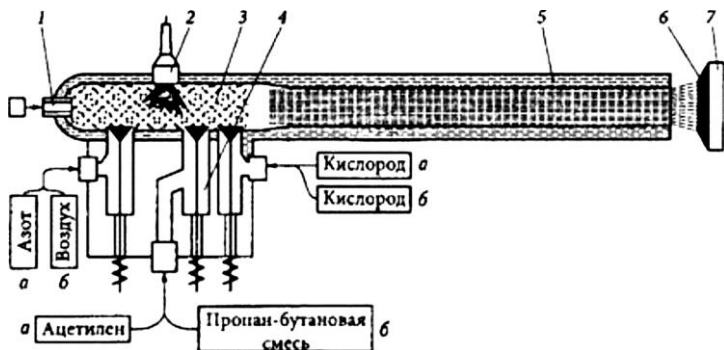


Рис. 2.11 – Схема детонационной установки с внутренним

смесеобразованием [1; 9; 11]:

1 – порошковый питатель; 2 – запальное устройство;
3 – взрывная камера; 4 – смесительная камера; 5 – ствол; 6 – покрытие; 7 – восстанавливаемая деталь;
a и *б* – базовый и усовершенствованный вариант подачи газов соответственно

Технологический цикл нанесения покрытия детонационного метода включает периодическую подачу в ствол смеси кислорода и ацетилена вместе с порцией порошка. Газовая смесь воспламеняется при помощи электрического импульса и детонационная волна перемещается по стволу, ускоряя и нагревая порошок. Частицы порошка ускоряются до скорости 500...1000 м/с и ударяются в деталь, образуя пятно диаметром, зависящим от диаметра ствола. Затем ствол очищается азотом и процесс повторяется. В зависимости от конструкции установки частота циклов может достигать 8...10 Гц, но в большинстве случаев она равна 3...4 Гц. Кроме ацетилена, в качестве горючего могут использоваться другие газы, например, метан или пропан-бутан. При этом протяжённость зоны перехода горения в детонацию увеличивается. Для снижения температуры нагрева частиц напыляемого материала взрывчатая смесь разбавляется азотом или воздухом. Нагрев частиц до пластического состояния в сочетании с приобретаемой значительной кинетической энергией позволяет получать покрытия с высокой прочностью сцепления (до 250 МПа) и низкой пористостью (менее 2%).

При детонационном напылении можно получать покрытия из любых материалов, тугоплавких соединений, оксидов и др. Для получения износостойких покрытий и при восстановлении деталей применяют оксид алюминия Al_2O_3 , самофлюсующиеся сплавы. Для повышения износостойкости используют карбиды вольфрама WC , титана TiC , хрома Cr_2C_3 , борид хрома CrB_2 с добавками 8...20 % Ni или Co .

При детонационном напылении можно получить слои значительной толщины, но наибольшей прочностью сцепления обладают напыленные покрытия толщиной 0,2...0,4 мм, обеспечивающие прочность сцепления в пределах 130...160 МПа. Поэтому

наиболее рационально восстанавливать детали с небольшими износами. Толщина покрытия в центре металлизационного пятна, наносимого за один выстрел, зависит от дозы порошка, подаваемого в ствол, и обычно составляет 8...20 мкм при площади покрытия 4...6 см². При напылении самофлюсующимися сплавами обычно применяют порошки с диаметром час-тиц 7...70 мкм. Шероховатость (*Ra*) после нанесения детонационных покрытий составляет, как правило, 3...4 мкм.

Процесс детонационного напыления характеризуется значительным количеством технологических параметров. Основные из них: глубина загрузки порошка, т.е. расстояние от места ввода порошка до среза ствола; соотношение расходов газов: (горючего кислорода, азота или воздуха, т.е. состава рабочей взрывчатой смеси); степень заполнения ствола – отношение суммарного расхода газа за один цикл к суммарному объёму ствола и камеры смешения; расход азота продувки ствола; толщина напыляемого слоя за один цикл; дистанция напыления: химический и гранулометрический состав и способ изготовления порошка.

От глубины загрузки зависит время пребывания частиц порошка внутри ствола, полнота физико-химического взаимодействия с продуктами детонации. Состав смеси существенно влияет на энергетические характеристики частиц порошка и определяет химическое взаимодействие напыляемого материала с продуктами детонации. В зависимости от состава рабочей смеси может происходить полное или неполное сгорание горючего газа. Оптимальной рабочей смесью может быть смесь, близкая к стехиометрической. Однако максимумы скорости детонации и твёрдости покрытия из оксида алюминия (в данном случае твёрдостью определяют оптимальные условия формирования покрытия) не совпадают. В то же время при нанесении покрытия из карбидов избыток углерода в газовой смеси защищает карбид от обезуглероживания.

Толщина единичного слоя составляет 5...20 мкм. Дистанция напыления определяется из условия минимального воздействия на поток частиц отражённой от поверхности подложки волны.

Практически для стволов различного диаметра эта величина составляет 150...200 мм.

Производительность детонационного напыления (10...60 $\text{см}^2/\text{мин}$) ниже плазменного (до 100 $\text{см}^2/\text{мин}$). Повышения производительности можно добиться увеличением диаметра ствола установки, однако применение ствола диаметром свыше 25 мм влечет за собой снижение качества формирования покрытий, а использование ствола диаметром свыше 50 мм не рекомендуется по соображениям техники безопасности.

Повысить скорострельность можно за счет уменьшения длины ствола, а, следовательно, сокращения времени его заполнения рабочей смесью. Однако сокращение времени заполнения ствола и уменьшение его длины (до 400 мм) возможно только при нанесении легкоплавких металлических порошков. Для получения качественных покрытий напылением более тугоплавкими сплавами требуется длина ствола около 2000 мм.

Применение многоствольных установок также позволяет повысить производительность в несколько раз. В то же время из-за технических трудностей, связанных с управлением сразу несколькими стволами, эти установки пока что не нашли практического применения.

Детонационное напыление применяют для упрочнения различных видов инструмента, штампов, коленчатых валов и блоков цилиндров двигателей. Для восстановления изношенных деталей детонационное напыление пока применяют ограниченно, главным образом для нанесения покрытий на посадочные места под подшипники. Восстановлению детонационным методом подлежат валы диаметром от 20 до 250 мм, торцевые поверхности диаметром до 600 мм.

2.7. Области применения металлизации

Описанные способы металлизация применяют при восстановлении деталей: восстановление изношенных наружных и внутренних поверхностей деталей машин преимущественно цилиндрической формы (например, валов, штоков, втулок, вклады-

шей подшипников, цельных подшипников и др.); создание на деталях поверхностного слоя с определенными свойствами (износостойкого, коррозионностойкого, антифрикционного, жаростойкого, с повышенной теплопроводностью или электропроводностью и т.д.); нанесение защитно-декоративных покрытий. Применению металлизации для этих целей способствуют: низкая температура нагрева поверхности изделия, не превышающая 50...70°C, при которой основной металл не претерпевает никаких структурных изменений, полностью сохраняя свои механические свойства. Это дает возможность наносить слой покрытия на любые материалы: металл, дерево, резину, пластмассы и т. п.

При рассмотрении целесообразности применения металлизации для восстановления изношенных деталей следует учитывать, что металлизированный слой не повышает их прочности, а следовательно, металлизация неприменима для восстановления деталей с ослабленным сечением. Ограниченно применяется металлизация при восстановлении деталей, находящихся под действием динамической нагрузки, а также деталей, работающих при сухом трении, т. к. сцепляемость напыленного слоя с основным металлом детали недостаточна.

Получение качественных покрытий возможно лишь при строгом соблюдении режимов и тщательной подготовке поверхностей. Подготовку поверхности для металлизации производят в такой последовательности: очистка деталей от загрязнений, пленок, оксидов, жировых пятен, влаги и ржавчины; предварительная механическая обработка поверхности с целью придания ей правильной геометрической формы; создание шероховатой поверхности для удержания нанесенного слоя металла; защита смежных поверхностей, не подлежащих металлизации. Очищают поверхности от загрязнений щетками, промывают в бензине или растворителях, очищают также, нагревая в печах над пламенем газовой горелки или паяльной лампы.

Механической обработкой исправляют геометрическую форму детали и доводят до размеров, при которых возможно нанесение покрытия заданной толщины. На концах цилиндрических поверхностей оставляют буртики и протачивают замки в

виде кольцевых канавок, предохраняющих покрытие от разрушения с торца.

Шероховатость на поверхностях деталей, подлежащих металлизации, получают различными способами. Детали сложной формы для заделки трещин и раковин и для плоских деталей подвергают пескоструйной обработке сухим кварцевым песком с размером частиц 1,5...2 мм. Шероховатость закаленных тяжело нагруженных деталей создается наплавкой вибрирующими электродами в сочетании с пескоструйной обработкой (обдувкой). В отдельных случаях шероховатость создают, наматывая на деталь, очищенную от окалины проволоку диаметром 0,5... 1,5 мм с шагом 2...5 этого диаметра. Намотанная проволока закрепляется сваркой, после чего производится пескоструйная обработка. После очистки и подготовки к металлизации не рекомендуется брать деталь голыми руками, класть ее на загрязненные поверхности и выносить во влажные помещения. Время между концом подготовки и нанесением слоя металла не должно превышать 1 ч во избежание окисления подготовленной поверхности. Поверхности детали, не подлежащие металлизации, защищают картоном, листовой сталью или изоляционной лентой, а пазы и отверстия – деревянными пробками.

Нанесение слоя металла выполняется в специальных камерах, оборудованных пылеприемниками, или на месте ремонта машин. Поверхности, имеющие форму тел вращения, металлизуют на токарном станке, при этом металлизатору, закрепленному на суппорте с помощью специального приспособления, сообщают движения подачи, а скорость вращения детали выбирают в зависимости от размеров детали и типа металлизатора.

Для получения высокого качества покрытий струю распыленного металла следует направлять перпендикулярно обрабатываемой поверхности и выдержать расстояние от сопла металлизатора до изделия в пределах 100...150 мм. Вначале следует напылять металл на участки, имеющие резкие переходы: углы, галтели, уступы, а затем переходить к металлизации всей поверхности, равномерно наращивая металл.

Контрольные вопросы

1. Какие свойства поверхности можно получить за счет диффузной металлизации?
2. Какие основные задачи решаются при металлизации?
3. Какую роль играет поверхность изделия при нанесении покрытий?
4. Как влияют загрязнения поверхности изделий на адгезионную прочность получаемых покрытий?
5. Перечислите основные способы нанесения покрытия.
6. Какие технологические операции включает в себя процесс нанесения металлических покрытий детонационным способом?
7. Какие технологические операции включает в себя процесс нанесения металлических покрытий плазменным способом?
8. Какие технологические операции включает в себя процесс нанесения металлических покрытий газотермическим способом?
9. Какие технологические операции включает в себя процесс нанесения металлических покрытий ионно-плазменным способом?
10. Назовите основные элементы плазмотрона.
11. В чем заключаются основные технологические особенности детонационной металлизации?
12. В чем заключаются основные технологические особенности плазменной металлизации?
13. Какие горючие газы наиболее часто применяют для металлизации?
14. Перечислите горючие газы, которые используют для металлизации?
21. Приведите примеры детонационных, плазменных и ионно-плазменных установок металлизации?

Глава 3. ВОССТАНОВЛЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКИМИ СПОСОБАМИ

3.1. Основы процесса электролитического наращивания

В основе процесса электролитического наращивания лежит электролиз – электрохимический процесс, протекающий между анодом и катодом (деталью) в электролите (водном растворе соли, кислоты или щелочи) и сопровождающийся выделением на катоде металла (рис. 3.1). Количество выделенного при электролизе на катоде металла пропорционально току и времени его прохождения [13].

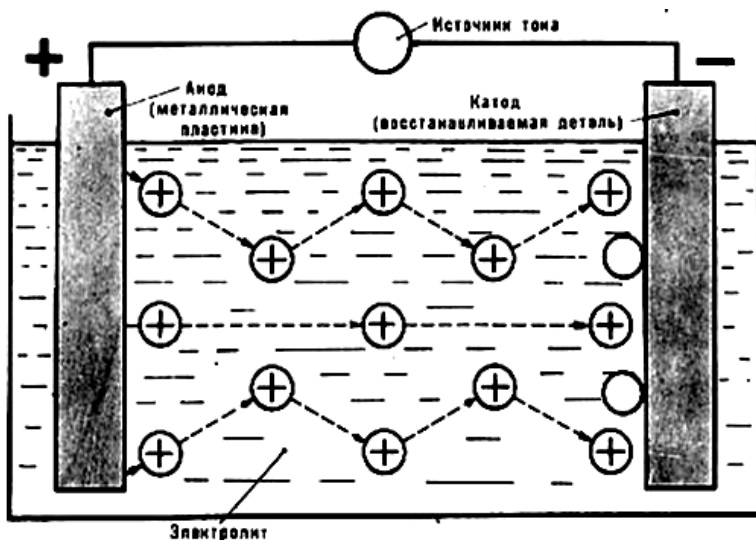


Рис. 3.1 – Принципиальная схема процесса электролитического наращивания [13]

Электролитическое наращивание с формированием покрытий предпочтительнее наплавки, так как:

- процессы гальванического осаждения металла не вызывают структурных изменений в подвергаемых восстановительному ремонту изношенных деталях;
- позволяют устранять незначительные износы;
- легче поддаются механизации и автоматизации;
- применяемые электролиты можно использовать многократно;
- одновременно можно восстанавливать значительное количество деталей,
- можно получать равномерные по толщине покрытия с широким диапазоном твердости (от 1000 до 12000 МПа), что позволяет восстанавливать большую номенклатуру деталей, значительно отличающихся конструктивно-технологическими характеристиками и условиями эксплуатации.

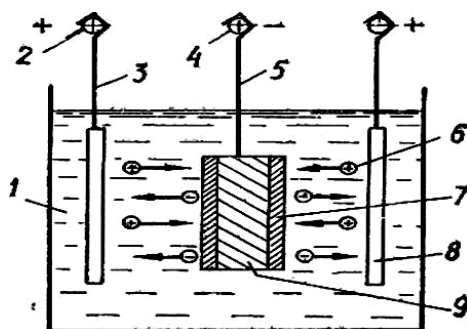


Рис. 3.2 – Схема электрохимического осаждения металла [13]:

- 1- ванна; 2 - анодная штанга; 3 - крюк (подвеска) для завешивания анода; 4 - катодная штанга; 5 - крюк подвеска для завешивания детали (катода); 6 - ионы металла (катионы); 7 - покрытие; 8 - анод; 9 - деталь (катод)

При прохождении постоянного тока через электролит на аноде 3 происходит растворение металла (переход его в электролит) и выделение кислорода, а на катоде 9 (деталь) – отложение металла и выделение водорода.

Режим процессов электролитического наращивания определяется следующими основными показателями:

- состав электролита (e/l);

- кислотность электролита $\text{pH} < 7$ - кислый, $\text{pH} = 7$ - нейтральный, $\text{pH} > 7$ - щелочной;
- температура, °C;
- плотность тока, $\text{A}/\text{дм}^2$;
- выход по току (к.п.д.), %.

Технологический процесс нанесения электролитического покрытия состоит из трех этапов:

- 1) подготовка детали (деталей);
- 2) нанесение покрытия;
- 3) обработка детали (деталей) после нанесения покрытия.

3.2. Технологический процесс осталивания

При прохождении постоянного тока низкого напряжения через раствор солей железа происходит осаждение на катоде (ремонтруемой детали) электролитического железа. Прочность и твердость осажденного слоя приближаются к аналогичным свойствам среднеуглеродистой стали, поэтому процесс получил название осталивание.

Особенностями процесса осталивания по сравнению с хромированием являются:

- применение растворимых анодов и более дешевых электролитов;
- высокие плотность тока ($10 \dots 50 \text{ A}/\text{дм}^2$) и скорость формирования покрытия ($0,2 \dots 0,8 \text{ мм}/\text{ч}$ в зависимости от плотности тока);
- большая толщина покрытия (более 3 мм при мягком и до 2 мм при твердом осталивании);
- высокий выход железа по току, достигающий 80...95 % вместо 12...15% при хромировании, что позволяет вести процесс осталивания при меньшей мощности источника постоянного тока;
- меньшие длительность и стоимость, что обуславливает эффективность его применения при ремонте машин [14].

Технологический процесс осталивания состоит из трех стадий: подготовки деталей к нанесению покрытий; нанесения покрытий и обработки деталей после нанесения покрытий.

Схема технологического процесса осталивания следующая: механическая обработка поверхностей; промывка бензином;

монтаж деталей на подвеску; изоляция мест деталей, не подлежащих покрытию, обезжиривание деталей; промывка холодной проточной водой; анодная обработка в 30%-ном растворе серной кислоты, промывка холодной водой, промывка горячей водой (с температурой 50...60 °С), нанесение покрытия; промывка горячей водой (с температурой 80...90 °С), нейтрализация 10%-ным раствором каустической соды; промывка горячей водой (80...90 °С); демонтаж деталей с подвески и снятие изоляции; механическая обработка поверхности покрытия и контроль качества. Многие операции осталивания такие же, как и операции хромирования, или аналогичны им, поэтому ниже рассмотрим лишь те операции, которые по своему содержанию отличаются от операций хромирования.

Для изоляции мест деталей, не подлежащих покрытию, применяют цапон-лак, эмалит, клей БФ-2, бакелитовый лак, резину, хлорвиниловые пластиката и эмали.

Анодная обработка выполняется в ванне с электролитом следующего, чаще всего, состава: 30%-ный водный раствор серной кислоты и сернокислое железо закисное (железный купорос $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) в количестве 10...25 г/л воды. Плотность электролита 1,23 г/см³. Анодом служат детали, поверхность которых осталивается, а катодом – пластины из свинца или нержавеющей стали. Площадь катодов должна в 3...4 раза превышать площадь анодов.

Режим обработки: плотность тока – 10...70 А/дм², температура электролита – 16...22 °С, продолжительность обработки – 0,5...4 мин.

Для удаления пассивной пленки, образовавшейся при анодной обработке, подвеску с деталями погружают в ванну осталивания и выдерживают в ней без тока в течение 10...50 с. Затем включают ток плотностью 5 А/дм² и в течение 5...10 мин доводят плотность тока до заданного значения.

Существующие горячие хлористые электролиты для осталивания различаются как по составу, так и по концентрации входящих в них компонентов. Они позволяют создавать покрытия различной твердости. Для получения твердых износостойких по-

крытий на практике успешно применяют электролит следующего состава (г/л воды): хлористое железо $FeCl_2 \times H_2O$ – 200...220, соляная кислота HCl – 0,8...1,0. Режим работы ванны: плотность тока – 40...50 А/дм², температура электролита – 75...80 °С. Время выдержки деталей в ванне осталивания зависит от требуемой толщины слоя покрытия. Скорость осаждения металла на деталь – 0,3...0,5 мм/ч.

При осталивании применяют растворимые аноды из малоуглеродистой стали марок 10, 15 или 20. Растворение анодов в процессе электролиза вызывает загрязнение электролита анодным шламом (нерастворимыми частицами), который в виде включений попадает в гальваническое покрытие, ухудшая его качество. Установка для осталивания должна иметь устройство для фильтрации электролита.

Высокая температура процесса осталивания (60...80 °С) способствует испарению электролита, поэтому установка должна иметь еще и устройство для пополнения электролита водой и соляной кислотой.

Горячие хлористые электролиты обладают высокой агрессивностью по отношению к большинству металлов и их сплавов. Ванны осталивания, отстойные баки, дозирующие бачки, травильные ванны и другое оборудование должно быть защищено от агрессивного действия электролита углеграфитовыми плитками из антигмита, кислотостойкой эмалью, кислотостойкой резиной, эбонитом или кислотостойкими лаками.

Осталиванием восстанавливают стержни клапанов, толкатели, валики привода (масляного, водяного и других насосов), валы и оси трансмиссий, шкивы, кронштейны, ступицы и другие детали. Осталивание применяют также для наращивания изношенных поверхностей гнезд подшипников в корпусных деталях, шеек валов, наружных поверхностей бронзовых втулок, повышения сцепления баббита с чугунными вкладышами и т.д.

Для восстановления посадочных мест корпусных деталей в ремонтном производстве применяется местное (вневанное) осталивание. Осталиванием вне ванны можно восстанавливать гнезда под подшипники, например, картеры коробки передач (рис. 3.3),

которые, в первую очередь, промывают в 10%-ном растворе едкого натра и в горячей воде. Затем поверхности гнезд зачищают наждачной шкуркой, промывают бензином и горячей водой, после чего обезжиривают венской известью и промывают горячей и холодной водой.

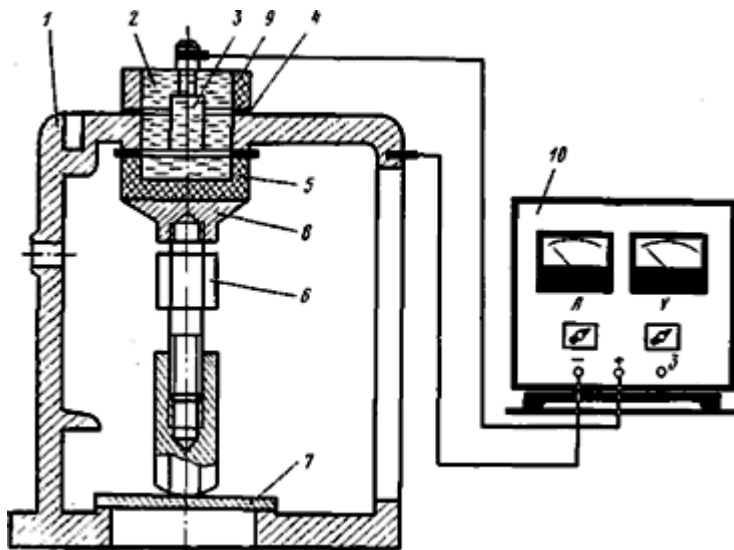


Рис. 3.3 – Схема местного осталивания гнезд подшипников картера коробки передач [1]:

1 – корпус коробки; 2 – электролит; 3 – анод; 4 – резиновая прокладка; 5 – стакан; 6 – раздвижной упор; 7 – опорная пластина; 8 – крышки; 9 – кольцо; 10 – выпрямитель

В корпус коробки 1 устанавливают приспособление для осталивания. Заливают в ванночку подогретый до 40...50 °С электролит следующего состава: 500 г/л двухлористого железа и 1,0...1,5 г/л соляной кислоты. Затем в центре ванночки устанавливают цилиндрический анод 3 из стали марок Ст. 2, Ст. 3 такого диаметра, чтобы расстояние между поверхностями анода и отверстия было не менее 40...50 мм, подключают к нему отрицательный полюс источника тока, а к корпусу коробки – положительный полюс. Включают ток для декапирования поверхности отверстия в течение 4...5 мин плотностью 10...15 А/дм², после

чего переключают полюса: минус на деталь, а плюс на анод и осталяют поверхность при той же плотности тока в течение времени, необходимого для нанесения слоя покрытия нужной толщины. Скорость осаждения слоя 0,10...0,15 мм/ч. По окончании осталявания отсасывают электролит из ванночки резиновой грушей, тщательно промывают поверхность горячей водой, снимают приспособление. Протирают поверхность отверстия тампоном, смоченным 10%-ным раствором каустической соды, и для нейтрализации остатков кислоты его промывают холодной водой с последующей протиркой сухой ветошью. Затем проводят расточку отверстия до требуемого размера.

Контроль качества покрытия производится наружным осмотром при помощи лупы и сравнивается качество поверхности с эталоном. При необходимости проверяется твердость покрытия. Если покрытие отслаивается, имеет трещины, раковины, полосы, то его бракуют.

К достоинствам процесса осталявания можно отнести: исходные материалы, входящие в состав электролита, недефицитны и дешевы; сохранение структуры металла детали, т. к. процесс ведется при температуре не более 100 °С; высокую твердость и износостойкость покрытия; высокую прочность сцепления покрытия с основным металлом, обеспечивающую надежную работу деталей в тяжелых условиях эксплуатации; получение покрытия толщиной до 3 мм; высокий выход по току – в 6...7 раз больше, чем при хромировании, и составляет 75...95 %; более низкую по сравнению с хромированием стоимость процесса; стоимость деталей, отремонтированных этим способом, в 2...4 раза ниже стоимости новых; скорость осаждения металла и толщина покрытия значительно выше, чем при хромировании; твердые покрытия могут быть получены толщиной до 1...1,2 мм, а мягкие толщиной до 2...3 мм и более; механическую обработку покрытия после осталявания производят при обычных режимах резания; процесс осталявания устойчив, легко регулируется и может быть автоматизирован.

К недостаткам осталивания следует отнести некоторую сложность подготовки деталей к нанесению покрытия и необходимость частой фильтрации и корректирования электролита. Необходимо отметить, что применение на ремонтных заводах твердого осталивания дает большой экономический эффект.

Рабочие места для гальванического наращивания металла размещают в специально отведенных помещениях, которые называются гальваническими цехами или участками. Оборудование в них устанавливают в порядке проведения технологических операций. Над каждым рабочим местом должна висеть технологическая карта. Ванны для обезжиривания, хромирования, осталивания, по возможности, располагают у стен с окнами. На полу у рабочих мест должны быть уложены деревянные решетки, покрытые рифлеными резиновыми ковриками. Расстояние между боковыми сторонами ванн должно быть 100...150 мм, чтобы при переноске подвесок с деталями из одной ванны в другую растворы кислот и щелочей не попадали на пол и одежду работающих. На участке должны быть предусмотрены широкие проходы для транспортирования деталей и свободного доступа к оборудованию. Рабочие места для ванн обезжиривания, хромирования, осталивания должны быть оборудованы приточно-вытяжной вентиляцией. Над рабочими местами для подъема и опускания тяжелых корзин и подвесок с деталями должен проходить монорельс с электротельфером.

3.3. Технологический процесс безванного осаждения металла

Для восстановления таких крупногабаритных деталей, как коленчатые валы, отверстия корпусных деталей, цилиндров двигателей и других деталей применяют следующие безванные способы осаждения металла: струйный и проточный.

При струйном способе электролит подается к детали, установленной в электролитической ячейке специальной конструкции, которая играет роль местной ванны (рис. 3.4). Электролитическая ячейка состоит из разъемного корпуса, подводного 1 и отводного 2 патрубков для подачи и удаления электролита из зоны электроосаждения металла. Струя электролита подается к детали

через отверстия насадки — анода 4, расположенные под углом 30...40 градусов к радиальному направлению струи. Это способствует улучшению перемешивания электролита, что приводит к получению мелкозернистого, плотного осадка, почти полностью исключает образование дендритных зерен (игольчатых наростов металла).

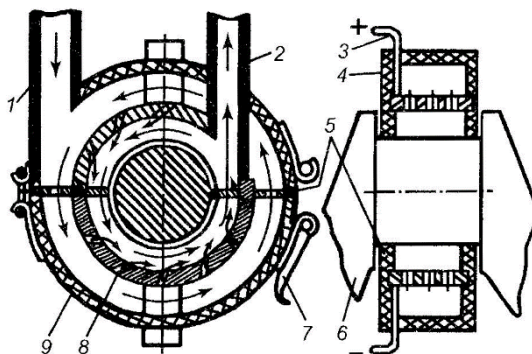


Рис. 3.4 – Схема устройства для струйного осталивания шеек валов [1; 14]:

1 – подводной патрубков; 2 – отводной патрубков; 3 – кабель;
4 – верхний корпус; 5 – уплотняющая прокладка; 6 – восста-
навливаемая деталь; 7 – зажим; 8 – анод; 9 – нижний корпус

Проточное железнение. Его обычно применяют для восстановления изношенных отверстий в корпусных деталях. В эти отверстия устанавливают аноды и с помощью специального устройства деталь превращают в закрытую местную гальваническую ванну, через которую насосом прокачивают электролит. При подключении детали и анода к источнику тока на поверхности отверстия осаждается железо. Рекомендуемая температура электролита 75...80 °С, а катодная плотность тока 25...30 А/дм². Метод позволяет получать качественные гладкие покрытия со скоростью 0,3 мм/ч, толщиной до 0,7 мм и твердостью 4000...4500 МПа. На рис. 3.5 представлена схема устройства для проточного осталивания одновременно четырех отверстий в корпусе редуктора. С помощью специальных верхней 4 и нижней 8 крышек, а также штат-

ных крышек корпус превращается в местную ванну для осталивания. В каждое из восстанавливаемых отверстий концентрично устанавливается анод 5, который крепится гайкой 6 на металлическом стержне, связанном с токопроводом 3. Между анодами и восстанавливаемыми отверстиями образуются межэлектродные зазоры, через которые непрерывно прокачивают электролит. Он поступает в восстанавливаемую деталь через подводящий штуцер 1 и удаляется из нее через штуцер 9.

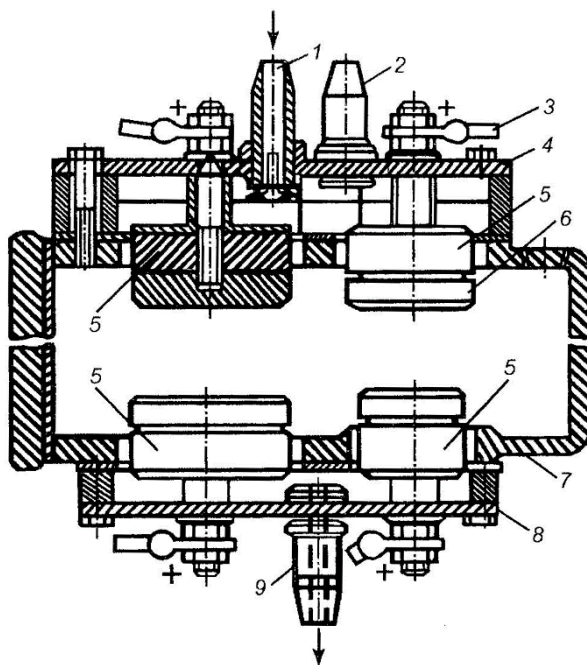


Рис. 3.5 – Схема устройства для проточного осталивания отверстий в корпусной детали [1; 14]:
 1 – подводящий штуцер; 2 – штуцер отвода газов;
 3 – токопровод; 4 – верхняя крышка; 5 – анод; 6 – гайка; 7 – восстанавливаемая деталь; 8 – нижняя крышка; 9 – сливной штуцер

3.4. Технологический процесс хромирования

Технологический процесс хромирования состоит из трех этапов: подготовки детали (механическая обработка, изоляция мест,

не подлежащих покрытию, монтаж детали на подвеске, обезжиривание и промывка, декапирование), собственно хромирования и обработки после покрытия.

Гальваническое хромирование является одним из распространенных технологических процессов восстановления деталей.

Покрытия из хрома обладают высокими износостойкостью и химической стойкостью, не корродируют и не чувствительны к нагреву до 400 °С. Твердость хромовых покрытий достигает 850...1200 единиц по Виккерсу, а прочность сцепления хрома со сталью, чугуном, медью на сдвиг – до 300 МПа. Хромовое покрытие увеличивает срок службы деталей до 5 раз. Поэтому оно применяется для восстановления номинальных размеров изношенных деталей, обеспечения их износостойкости, защитно-декоративных и др. целей. Например, иногда детали подвергают хромированию перед закалкой. Такие детали после термической обработки не имеют окалины, поэтому отпадает необходимость их очистки. Хромирование выполняют при напряжении 6...12 В и плотности тока не менее $(5...7) \cdot 10^2 \text{ А/м}^2$. В зависимости от его назначения хромирование подразделяется на гладкое и пористое. Свойства хромовых покрытий зависят от состава и температуры электролита, катодной плотности тока. Изменяя соотношение плотности тока и температуры, можно получить различные по свойствам гладкие хромовые покрытия: блестящие, молочные и матовые [14].

К недостаткам хромирования и хромовых покрытий относятся:

- длительность процесса, что связано с малой скоростью осаждения металла (за 1 ч наносится слой хрома толщиной 0,01...0,03 мм);
- возможность наносить покрытия небольшой толщины, так как при толщине свыше 0,3...0,4 мм они менее износостойки, а при толщине свыше 0,5 мм склонны к отслаиванию;
- низкий (12...18 %) выход по току;
- значительное снижение усталостной прочности восстановленных деталей;
- относительно высокая стоимость восстановления;

– сравнительно низкая шероховатость покрытой поверхности; – вредные условия труда.

При хромировании деталей, работающих в условиях знакопеременных нагрузок, следует учитывать, что их усталостная прочность понижается на 15...25 %. Это происходит вследствие значительных напряжений растяжения в поверхностном слое детали. Этот недостаток проявляется в меньшей мере при ведении процесса хромирования на токе переменной полярности. Варьируя величиной продолжительности между переключениями полярности, можно уменьшить шероховатость поверхности покрытия и обеспечить в нем незначительные по величине остаточные напряжения растяжения, а, следовательно, и несущественное понижение усталостной прочности, что важно для деталей, работающих в условиях знакопеременных нагрузок. Подготовка деталей к хромированию проводится по описанной выше общей технологии нанесения гальванических покрытий. Поверхности, не подлежащие покрытию хромом, изолируют целлулоидным лаком, а отверстия в детали закрывают свинцовыми пробками. Лучшие результаты обеспечивает обезжиривание деталей электролитическим способом при следующем составе электролита: 100 г $NaOH$, 2...3 г Na_2SiO_3 (жидкое стекло), 1 л воды. При этом анодом служит железная пластина, а катодом – очищаемые детали. Процесс обезжиривания длится 5...6 мин при плотности тока $(5...7) \cdot 10^2$ А/м², напряжении 5...6 В и температуре раствора 65...70 °С. После этого детали промывают в горячей воде, выдерживают для удаления окислов в течение 3...5 мин в 10%-ном растворе серной кислоты и снова промывают в горячей воде. Вместо травления в растворе серной кислоты применяют анодное декапирование в хромовой ванне. Для этого деталь подключают в качестве анода и выдерживают в течение 5...8 мин до выравнивания температур детали и электролита. Затем ее выдерживают 30...60 с при плотности тока $(2...3) \cdot 10^3$ А/м². После декапирования деталь промывают в холодной проточной воде. При хромировании ответственных деталей рекомендуется после декапирования протереть их кашицей из извести, чтобы обеспечить лучшее приращение хрома к детали.

Для хромирования обычно применяются сернокислые электролиты, основными компонентами которых являются хромовый ангидрид и серная кислота в соотношении 100:1. В этом случае выход хрома по току максимальный. В зависимости от концентрации хромового ангидрида электролиты бывают низкой (12...15 %), средней (20...25 %) и высокой (30...35 %) концентрации. Первые применяются при повышенных требованиях к износостойкости, так как обеспечивают более высокий выход хрома по току и получение твердых, износостойких покрытий.

Электролиты высокой концентрации применяются преимущественно для получения защитно-декоративных покрытий, так как обеспечивают лучшую устойчивость процесса электролиза и получение плотного блестящего слоя хрома с хорошей отражательной способностью. Электролиты средней концентрации по своим свойствам являются универсальными и применяются для нанесения всех видов покрытий с выходом по току 12...14 %. Совершенствование процесса хромирования обеспечивается применением саморегулирующего электролита, в котором автоматически поддерживается оптимальное соотношение между его компонентами. Это достигается, например, за счет введения в электролит солей сернокислого стронция и кремнефтористого калия в количестве, превышающем их растворимость, так что избыток этих солей присутствует в электролите в виде осадка. Растворением или увеличением осадка достигается стабилизация состава электролита. Саморегулирующие электролиты обеспечивают более высокую катодную плотность тока и стабильность процесса хромирования с более высоким выходом по току, который может достигать 40 %, что позволяет в 1,3...1,5 раза повысить производительность хромирования. Однако эти электролиты более токсичны. Все более широко в ремонтном производстве для хромирования применяются холодные электролиты, например, тетрахроматные с рабочей температурой 17...23 °С. Процесс хромирования ведется при катодной плотности тока 50...100 А/дм² и выходом по току 30...33 %. Этот электролит позволяет получать качественные покрытия с большой производительностью и меньшими внутренними напряжениями. Покрытия получаются

более мягкие, без трещин и поэтому эффективны для защитно-декоративных целей. Важно также и то, что тетрахроматные электролиты менее агрессивны к углеродистым сталям, поэтому для хромирова-

ния можно применять стальные ванны без защитной облицовки внутренней поверхности. При выборе холодных электролитов следует учитывать, что поддержание низкой их температуры при высокой плотности тока требует применения холодильных агрегатов. Ванны для хромирования. Ванну изготавливают из листового железа толщиной 4...5 мм обычно с двойными стенками, что позволяет нагревать электролит горячей водой, прокачиваемой между стенками ванны. Внутреннюю ванну облицовывают сплавом свинца, содержащим 5...6 % сурьмы, или кислотостойкими материалами. Если материал облицовки имеет низкую теплопроводность, то электролит нагревают, прокачивая горячую воду по погруженному в него освинцованному змеевику, или с помощью электрических нагревателей. Емкость ванн определяется габаритами и формой деталей, которые должны находиться примерно на 100 мм выше дна и 50 мм ниже верхнего уровня электролита. Расстояние между анодами и катодами должно быть 100...155 мм.

Для хромирования крупных деталей применяют передвижные ванны (рис. 3.6, а) и накладные ванны из листового целлулоида толщиной 3...4 мм, которые устанавливают непосредственно на деталь (рис. 3.6, б).

Для хромирования отдельных участков крупных деталей – шеек валов, например, эффективным является струйное хромирование, при котором ванна для хромирования монтируется вокруг покрываемого участка детали, а электролит прокачивается в зазоре между ванной и деталью. Хромирование проводят в стандартном, саморегулирующемся, тетрахроматном и других электролитах при катодно-анодном расстоянии – 15 мм. В зависимости от типа электролита и режима электролитического процесса скорость осаждения хрома составляет 0,1...0,25 мм/ч. При этом получают блестящие покрытия.

Эффективным для крупногабаритных деталей является также хромирование в проточном электролите и безванное хромирование с использованием для электролита полости в самой детали.

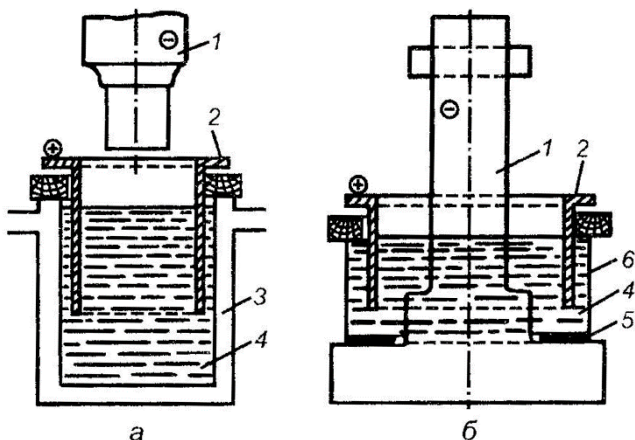


Рис. 3.6 - Конструктивные схемы ванн для хромирования крупных деталей [1; 14]:
а - передвижной; *б* - накладной; 1 - деталь (катод); 2 - анод; 3 - ванна с двойными стенками; 4 - электролит; 5 - уплотнение; 6 - ванна

Для хромирования в ваннах применяют нерастворимые свинцовые аноды с содержанием сурьмы 6 %, выполненные, как правило, в виде плоских пластин. Хромирование крупных круглых деталей при двух анодах не позволяет получить одинаковое по толщине покрытие. Лучшие результаты получаются при четырех анодах, удаленных на одинаковое расстояние от детали (катада). Для получения равномерного слоя хрома на фасонных поверхностях применяют фасонные аноды.

Источником тока при хромировании могут служить специальные низковольтные двухполюсные генераторы постоянного тока или выпрямители. Выделяющиеся при хромировании на электродах газы (водород - на аноде, кислород - на катоде) выно-

сят с собой также экологически вредные пары электролита. Поэтому оборудование для гальванических покрытий должно оснащаться надежной вентиляцией для отсасывания газов непосредственно с поверхности ванны. При неудовлетворительном качестве покрытия удалить хром можно электролитическим путем, поместив деталь в качестве анода в ванну с электролитом из 10...15%-ного раствора едкого натра. Катодом служит железная пластина. Температура раствора 40...50 °С, плотность тока от 500 до 1000 А/м², продолжительность выдержки – 15...30 мин.

Хромирование применяется внутри двигателей внутреннего сгорания (ДВС). В ДВС имеется постоянно работающая трущаяся пара – поршневые кольца/цилиндр, требующая повышенной износостойкости, причем традиционные гладкие твердые хромовые покрытия для этих целей не могут быть использованы. В тяжелых условиях, при повышенном давлении, температуре и дефиците смазки такое покрытие будет жить не более 3...5 часов, после чего разрушается. Разрушение случается от того, что при недостатке смазки в трущейся паре резко поднимется температура и происходит выкрашивание частичек хрома. В результате на покрытии цилиндра появятся глубокие борозды. Поэтому вместо зеркального твердого хрома в ДВС применяется специальный пористый хром. Сетка пор наносится с помощью специальной обработки после хромирования (например, анодной или химической). Пористый хром обладает значительно большей маслостойкостью, чем гладкий. Применение пористого хрома в рассматриваемой трущейся паре возможно в двух вариантах:

- хромированный цилиндр – чугунные поршневые кольца;
- нехромированный цилиндр – хромированные поршневые кольца.

В целом, износостойкость деталей, покрытых хромом возрастает в 3...5 раз, а срок службы ответных непокрытых деталей – до 2 раз. С целью повышения износостойкости хром может также применяться на коленчатых валах и штоках гидроцилиндров в амортизаторах.

3.5. Технологический процесс никелирования

В ремонтном производстве никелевые покрытия применяются для защиты деталей от коррозии, их декоративной отделки, компенсации небольшого по величине износа взамен хромирования, в качестве подслоя перед меднением или декоративным хромированием и как эффективное износостойкое покрытие. Никелевые покрытия после полирования приобретают красивый декоративный вид. В ремонтной практике применяют химический и электролитический способы никелирования. Микротвердость электролитических никелевых покрытий зависит от режима электролиза и может достигать 7000 МПа. Они имеют мелкокристаллическую структуру и равномерную толщину.

Никелевые покрытия толщиной 0,025 мм хорошо предохраняют основной металл от коррозии, так как никель химически стоек к воздействию атмосферы, щелочей и некоторых кислот. В гальванической паре с железом, как и медь, он выступает катодом. Поэтому никелевое покрытие защищает стальные детали от коррозии только при отсутствии пористости. Пористость уменьшается с увеличением толщины покрытия.

Свойства никелевых покрытий существенно зависят от электролита. Наиболее широко применяются сернокислые электролиты, основным компонентом которых является сернокислый никель. Они образуют относительно мягкие покрытия с хорошими защитными свойствами. Процесс ведется при плотности тока до 10 А/дм². Выход по току составляет 0,80...0,95. Используются также хлористые, фторборатные, сульфатные и другие электролиты. Хлористые электролиты применяют при никелировании нержавеющей и жаростойких сталей. Фторборатный электролит обеспечивает более высокую производительность за счет повышенной плотности тока (до 20 А/дм²) и стабильности процесса, а создаваемые покрытия имеют лучшие, чем при сернокислых электролитах, свойства и хорошее сцепление с металлом детали. При применении сульфатного электролита покрытия обладают повышенной пластичностью и незначительными внутренними напряжениями. Электролиты этого типа мало чувствительны к загрязнениям и допускают высокую плотность тока

(до 30 А/дм²). Для получения блестящих покрытий в электролиты вводят специальные добавки (блескообразователи), а также выравнивающие добавки, которые позволяют снизить требования к качеству полировки покрываемой поверхности перед никелированием по наличию и глубине рисок при необходимости получения гладкого покрытия.

Никелевые электролиты весьма чувствительны к химическим примесям, которые могут попадать при растворении анодов и материала подвесных приспособлений. Поэтому их следует периодически подвергать электрохимической очистке и фильтрации. Лучшие результаты обеспечиваются при непрерывной фильтрации и воздушном перемешивании электролита. В этом случае выход по току на оптимальных режимах достигает 90...98 %. При выборе режима электролиза следует учитывать, что чем выше кислотность и температура электролита, тем больше допускаемые значения плотности тока и скорости электролитического процесса. Важно поддерживать кислотность электролита постоянной, так как в противном случае ухудшаются свойства покрытий и снижается их сцепление с металлом детали. При никелировании применяют растворимые аноды из технического никеля, содержащего до 10 % железа, например, марок НПА1 и НПА2 и др. Для повышения их растворимости в состав электролита вводят хлористый никель, натрий или калий, а для предотвращения загрязнения электролита шлаком аноды помещают в специальные чехлы [14].

В гальванической паре *Ni-Сталь* никель является катодным покрытием и, следовательно, может обеспечивать защиту только при условии отсутствия оголенных мест и пор. Поэтому необходимо получать никелевые покрытия с минимальной пористостью. В паре никель-медь никель является анодом [15].

Для получения беспористых покрытий применяют последовательное осаждение нескольких слоев одного металла из различных по составу электролитов (например, из сульфаминового и сульфатного), либо осаждают два и более слоя различных металлов (например, *Ni-Cr*). У многослойных покрытий поры различ-

ных слоев, как правило, не совпадают. При толщине *Ni*-покрытия 0,125 мм основной металл уже предохранен от воздействия промышленных газов и растворов; при менее сильной агрессивной среде достаточен слой толщиной 0,050...0,100 мм.

При электроосаждении никеля из кислых растворов наряду с никелем на катоде выделяется водород. В результате разряда ионов водорода концентрация их в прикатодном слое может снизиться до значений, отвечающих образованию основных солей, которые влияют на процесс электроосаждения, обуславливая его структуру и механические свойства - поверхность становится хрупкой и шероховатой. С другой стороны, снижение кислотности электролита приводит к снижению рассеивающей способности и выхода по току ввиду расхода энергии на восстановление ионов водорода. Микротвердость, предел прочности, относительное удлинение и другие свойства никелевого покрытия резко меняются при значении pH = 5, что объясняется образованием в катодном слое гидроксида никеля. Поэтому для поддержания регламентируемых значений pH вводят буферные добавки.

Защелачиванию прикатодного слоя способствуют ионы щелочных металлов - K, Na и т.п. Поэтому рекомендуется готовить электролит без солей, содержащих эти ионы (т.е. без Na_2SO_4 , $NaCl$, последний из которых можно успешно заменить на $NiCl_2$).

Твердость никеля, полученного из электролитов без органических добавок, к которым относятся блескообразователи, смачиватели и выравнивающие добавки, обычно колеблется в пределах 300...400 кгс/мм². При введении добавок твердость повышается до 600...700 кгс/мм². Прочность на разрыв соответственно изменяется от 60 до 175 кгс/мм². Никелевые покрытия имеют пониженную пластичность, но после отжига при 900 °С их пластические свойства значительно улучшаются.

Для никелирования характерно явление, называемое питтингом. Иногда пузырьки газообразного водорода задерживаются на катодной поверхности, в этих местах становится невозможным дальнейший разряд ионов металла, и они разряжаются

вокруг пузырьков. На покрытии образуются ямки или "водородные поры", а сам осадок теряет декоративный вид и противокоррозионные свойства.

При анодном растворении никель легко пассивируется. Плотность тока пассивации зависит от концентрации сульфат и хлорид ионов. Полная пассивация приводит к выделению на аноде кислорода и хлора.

Для никелирования применяют сульфатные, сульфаминовые, хлоридные, борфторидные, щавелевокислые и электролиты, в которых никель находится в виде двухвалентного катиона. Разработано большое количество составов и режимов осаждения, позволяющих получать осадки никеля с различными физико-химическими свойствами. Обычно используют сульфатный электролит, т. к. вещества, которые в него входят, наиболее доступны, он прост в приготовлении и обслуживании. Основным компонентом сульфатного электролита является сульфат никеля $NiSO_4 \cdot 7H_2O$ (молекулярный вес 280,86 г/моль). Технический сульфат никеля марки СН-1 представляет собой кристаллы зеленого цвета. Растворимость без подогрева до 300 г/л. В электролит вводят также хлорид никеля $NiCl_2 \cdot 6H_2O$ (молекулярный вес 237 г/моль; растворимость без подогрева около 400 г/л).

Кроме никелевых солей, являющихся источниками катионов никеля, в состав электролита входят компоненты, предназначенные для того, чтобы повысить электропроводность, стабилизировать кислотность, улучшить растворимость анодов, придать блеск осадкам, предотвратить различные дефекты, встречающиеся при никелировании.

Если концентрация $NiSO_4 \cdot 7H_2O$ не превышает 300 г/л, в электролит для увеличения электропроводности иногда вводят $Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$ и $MgSO_4 \cdot 7H_2O$. Сульфат натрия обладает значительно большей электропроводностью, однако магний включается в никелевые покрытия, при этом они становятся более мягкими и светлыми. В качестве буферного соединения наиболее широко применяется борная кислота, которая регулирует рН не только в общем объеме электролита, но и в прикатодном слое, у которого вследствие разряда и выделения водорода уровень рН

непрерывно повышается. При $pH > 4$ осаждение никеля происходит через пленку образующегося гидроксида никеля. Для электролитов с низким значением pH более эффективными являются добавки фторидных соединений.

На свойства никелевых покрытий сильно влияют: состав, температура, уровень pH , плотность тока, примеси.

Наложение ультразвука, а также совместное применение ультразвука и реверсированного тока позволяют существенно интенсифицировать процесс электроосаждения. При этом повышается допустимая плотность тока осаждения, из электролитов обычного состава получают светлые, прочные и практически беспористые осадки при весьма малых толщинах покрытия, одновременно улучшается блеск покрытий, снижаются внутренние напряжения.

Зачастую в производстве возникает проблема выбора между хромовым покрытием и никелем. И то, и другое покрытие относительно твердое, износостойкое, может быть декоративным (блестящим) и коррозионностойким. Нанесение хрома в 1,5...2 раза дороже, чем никеля, и он может быть нанесен не на все поверхности, а для декоративного хрома вообще требуется никелевый подслоя. Поэтому представляет интерес замена хромового покрытия на никелевые аналоги (в т. ч. и никелевые сплавы с другими металлами) [15].

3.6. Технологический процесс меднения

Меднение применяют для улучшения притирки трущихся поверхностей деталей, предохранения стальных деталей от спекания при воздействии высокой температуры, нанесения подслоя на детали при их покрытии другими металлами. Медные покрытия применяют также в технологических целях, например, для облегчения пайки, защиты поверхностей деталей от науглероживания при цементации и др. Медные покрытия имеют хорошую сцепляемость с различными металлами, сохраняемую при глубокой вытяжке и развальцовке деталей, легко обрабатываются.

Технологический процесс меднения аналогичен хромированию и осталиванию. В зависимости от назначения толщина покрытия может быть от 3 до 50 мкм. Медь имеет положительный электрический потенциал по отношению к железу и в гальванической паре с ним является катодом. Поэтому медное покрытие лишь механически предохраняет стальные детали от коррозии. В этой связи медные покрытия, применяемые в качестве защитных от коррозии, должны обладать достаточной плотностью.

Благодаря свойствам хорошей сцепляемости, пластичности и полируемости медные покрытия широко применяют в качестве промежуточного слоя в многослойных покрытиях типа «медь – никель – хром». Это позволяет без ухудшения защитных свойств покрытия в целом снизить расход более дорогого и дефицитного никеля.

Для электролитического осаждения меди применяются растворимые аноды из электролитической меди марок М0 и М1, а электролиз ведется в кислом, щелочном или пирофосфорном электролитах. Кислый электролит является наиболее простым. Он содержит 200...250 г/л сульфата меди (медного купороса) и 50...75 г/л соляной кислоты. Процесс ведется при плотности тока 100...500 А/м², напряжении 4...6 В и температуре электролита 16...20 °С. Достоинства меднения в кислом электролите – дешевизна исходных материалов, большой выход металла по току (0,98...0,99), высокая скорость отложения меди (0,04...0,05 мм/ч). Однако вследствие вытеснения меди железом материал покрытия получается крупнокристаллическим, рыхлым и недостаточно прочным. Это не позволяет наносить медное покрытие непосредственно на черный металл, поэтому перед меднением на стальные детали наносят подслой никеля.

Щелочной электролит содержит в качестве основных компонентов цианиды меди и натрия, что обуславливает выделение при электролизе паров синильной кислоты. Это требует герметизации ванны и надежной вытяжки в процессе работы. Меднение ведется при плотности тока 100 А/м², напряжении 4...6 В и температуре 30...35 °С. При этом выход металла по току составляет

0,65...0,70. Существенным преимуществом цианистого электролита, по сравнению с кислым, является возможность непосредственно осаждать на стальные и чугунные детали высококачественные мелкокристаллические осадки меди.

Пирофосфорный электролит объединяет основные положительные свойства кислого (дешевые материалы и высокая производительность осаждения меди) и цианистого (более высокое качество покрытия и возможность его нанесения непосредственно на сталь) электролитов [14].

Контрольные вопросы

1. Пояснить сущность электролитического наращивания металла.
2. Охарактеризовать положительные и отрицательные особенности восстановления деталей электролитическими способами.
3. Охарактеризовать общее содержание режимов электролитического наращивания, привести пример.
4. Привести структурную схему технологического процесса электролитического наращивания металла.
5. Дать сравнительную характеристику основным способам электролитического наращивания металла: железнению, хромированию, никелированию.
6. Изложить основное содержание технологии электролитического наращивания металлов.
7. Охарактеризовать особенности и возможности струйных способов электролитического наращивания металлов.
8. Охарактеризовать особенности и возможности наращивания металла в проточном электролите.
9. Охарактеризовать особенности и возможности электролитического напирания металла.
10. Дать сравнительную характеристику основным видам хромовых покрытий: матовый хром, блестящий хром, белый хром.
11. Охарактеризовать особенности электролитического наращивания металлов на нестандартных режимах.
12. Какое назначение гальванических покрытий?

13. В чем заключается сущность электрохимического (гальванического) способа нанесения покрытий?
14. Что представляют собой катоды и аноды в гальваническом производстве?
15. Перечислите и охарактеризуйте основные операции технологии нанесения гальванических покрытий.
16. Какие электролиты чаще всего применяются при меднении?

Глава 4. СПОСОБЫ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ ПОСЛЕ НАРАЩИВАНИЯ ПОКРЫТИЙ

4.1. Припуск на механическую обработку покрытий

При восстановлении деталей на их изношенные поверхности необходимо нанести определенный слой материала. Толщину наносимого слоя выбирают с учетом износа деталей и припуска на последующую механическую обработку.

Образованный в процессе восстановления изношенных деталей припуск – это слой материала, необходимый для выполнения всей совокупности технологических переходов при восстановлении данного элемента детали (рис. 4.1) [16]:

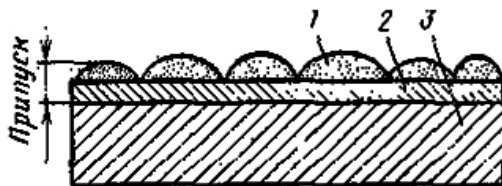


Рис. 4.1 – Схема разреза восстанавливаемой детали с припуском и дефектным слоем [16]:

- 1 – дефектный слой; 2 – качественный слой;
- 3 – металл восстанавливаемой детали

Различают припуски для внешних и внутренних поверхностей восстанавливаемых деталей. В процессе восстановления возможно симметричное и асимметричное образование припуска на обработку. В поле допуска на размер восстанавливаемого элемента детали, который учитывают при установлении припуска на обработку, должны укладываться погрешности геометрических форм – эллиптичность, гранность, волнистость, выпуклость,

вогнутость и т. п. Пространственные отклонения, представляющие собой изогнутость, смещение и увод осей, непараллельность, перпендикулярность осей и поверхностей, отклонения от взаимного положения элементов детали, не связаны с допуском на размер, но и их следует учитывать при определении припуска отдельно в тех случаях, когда такие погрешности имеются. Необходимо учитывать и погрешность установки восстанавливаемой детали при выполняемом переходе на последующую механическую обработку.

Одним из основных факторов, влияющих на определение припуска, является его дефектный слой (см. рис. 4.1).

Существующие методы восстановления изношенных деталей при постоянных режимах обеспечивают относительно одинаковую толщину покрытия. Так как на восстановление поступают детали с разной степенью износа, то при нанесении на изношенные поверхности одинакового слоя материала припуски на их последующую механическую обработку будут различными. Минимальные припуски при восстановлении деталей сваркой, наплавкой и металлизацией приведены ниже:

а) восстановление деталей сваркой и наплавкой: ручная наплавка – 2...3 мм; наплавка над слоем флюса – 1 мм; электроконтактная наплавка – 0,8...1 мм;

б) металлизация – 0,4 мм.

4.2. Обработка поверхностей деталей после их восстановления

Обработка наплавленных поверхностей

Выбор вида обработки наплавленных поверхностей зависит от их твердости и хрупкости, припуска для удаления дефектного слоя, производительности процессов, требуемой точности.

Проблема механической обработки связана с особенностями микроструктуры, наличием возможных дефектов, сложным химическим составом, характерной высокой твердостью наплавленных поверхностей (покрытий). Наличие большого количества легирующих добавок и мелкодисперсных упрочняющих фаз вызывает упругие деформации и заметное упрочнение покры-

тий при резании. Это ускоряет износ обрабатывающего инструмента, механические свойства которого соизмеримы со свойствами покрытий. Низкая теплопроводность металла покрытий также осложняет процесс резания, отчего обработку ведут на режимах, с параметрами значительно ниже общепринятых, иными словами, с заниженной производительностью, даже по сравнению с легированными сталями аналогичной твердости. При этом используют точение, шлифование, фрезерование, сверление и другие известные методы. Важно, чтобы изделие с покрытием при обработке не подвергалось значительным деформациям и нагрузкам, вызывающим растягивающие напряжения [17].

По производительности механической обработки приоритет отдается токарной обработке твердосплавными резцами. Но этому виду обработки поддаются лишь покрытия с твердостью не более 40 HRC, полученные из самофлюсующихся порошковых сплавов ПТ-10Н-04, ПГ-СР2. Поэтому предварительная обработка деталей после наплавки, обычно выполняется резцами, изготовленными из сплавов марок Т15К6, ВК3М, ВК6М, особо мелкозернистого сплава ВК6, а также из сверхтвердых инструментальных материалов эльбора, гексаниа, киборита. Выбор марки материала инструмента зависит от твердости и химического состава покрытия, вида обработки. Для чистовой и отделочной обработки подвергнутых предварительной лезвийной обработке деталей после наплавки покрытий используют шлифование. При этом в качестве абразивного материала используют электрокорунд нормальный, белый и монокорунд. При обработке наплавленных поверхностей наибольшей стойкостью обладает абразивный инструмент на бакелитовой и вулканитовой связках.

Оптимальные значения геометрических параметров резцов с режимами резания приведены в табл. 4.1 [17].

Значительное влияние на работоспособность резцов и качество наплавленной поверхности после её механической обработки оказывает скорость резания. В результате изменения скорости резания появляется возможность снижения шероховатости обработанной поверхности на 1...2 класса и повышения твердо-

сти наплавленного слоя на 15...20 % на глубине наклепа поверхностного слоя 120...160 *мкм*, а распространения остаточных тангенциальных напряжений на глубине 150...380 *мкм*.

Таблица 4.1.

Оптимальные характеристики процесса точения покрытий

Материал резца	Угол резца, град.			Режимы резания резца	
	Главный в плане	Перед- ний	Зад- ний	Скорость, <i>м/мин</i>	Подача, <i>мм/об.</i>
T15K6	30...15	30...15	30...15	30...15	30...15
BK3M	45	45	45	45	45
BK6M	30	30	30	30	30

Покрытия с более высокой твердостью (> 40 HRC) обрабатываются шлифованием. Очень плохо поддаются обработке содержащие карбиды сплавы, типа ПС12НВК, например, поэтому покрытия из таких материалов желательно использовать как необрабатываемые. Даже шлифованием в этом случае с трудом удается снять припуски, что указывает лишний раз на то, что напыление необходимо производить с высокой точностью, чтобы свети обработку к минимуму.

Применяется плоское, круглое и бесцентровое шлифование с использованием СОЖ или сухое. Наиболее высокие показатели процесса обработки наплавов достигаются при сухом шлифовании. Шлифование без охлаждения жидкостью позволяет вести процесс обработки в условиях разупрочнения обрабатываемого материала в месте контакта круга с восстанавливаемой деталью. В качестве инструмента используют круги из карбида кремния зеленого или корунда на керамической связке с размером зерна около 0,5 чернового и 0,2 мм чистового шлифования. Повысить скорость обработки в 3...6 раз можно, если использовать алмазные круги АСКМ для чернового и M016, MВ1 для чистового шлифования. Шлифование следует производить с небольшими подачами при высоком числе оборотов.

Сухое шлифование обеспечивает удельную производительность в 4,8 раза более высокую, чем мокрое. Стойкость круга при этом в четыре раза выше. Такое положение объясняется следую-

щими обстоятельствами. Низкая теплопроводность абразивных кругов способствует тому, что теплота, выделяющаяся при шлифовании, концентрируется в верхних слоях обрабатываемого покрытия. Контактная температура в этих слоях составляет около 1200 °С (при применении СОЖ в два раза меньше), что, безусловно, снижает твердость металла и делает его более податливым обработке. Таким образом, обработка ведется в условиях разупрочнения металла, что может отразиться на свойствах покрытия. Снижается его твердость и износостойкость, возможны прижоги и микротрещины. К тому же способ сухого шлифования сопровождается высокой запыленностью воздуха в рабочей зоне, что ухудшает условия труда. Поэтому, учитывая все факторы, для обработки покрытий предпочтительнее шлифование с обильным охлаждением эмульсолом, несмотря на невысокую производительность. Целесообразно использовать круги зернистостью М25, М40 и твердостью СМ1–СТ1. В качестве охлаждающей жидкости применяют 5%-й эмульсол, например, Э-2, при расходе 2...4 л/мин. Рекомендуемые режимы для различных условий шлифования приведены в табл. 4.2.

Таблица 4.2.

Режимы обработки покрытий шлифованием

Режимы	Вид шлифования	
	круглое	плоское
Скорость круга, м/с	30...35	30...35
Скорость детали, м/мин	30–32	18...20
Поперечная подача, мм/дв. ход	0,01...0,02	1,8
Продольная подача, м/мин	1,2...1,5	-
Глубина резания, мм	-	0,1

Заканчивать обработку после шлифования под окончательный размер восстановленных поверхностей деталей (рис. 4.2) следует выглаживанием, которое обеспечивает шероховатость $Ra = 2,5...0,3$ мкм в зависимости от продолжительности. Полирование покрытия не рекомендуется, так как абразивный материал набивается в поры и создает задиры при трении на поверхности сопрягаемых деталей.

Детали, восстановленные наплавкой твердыми порошковыми материалами на железной основе, например сормайт, УС-25, ФБХ-6-2, целесообразно обрабатывать шлифованием методом врезания.

Детали, восстановленные наплавкой сормайтом, целесообразно предварительно обрабатывать шлифовальным кругом из хромистого электрокорунда 34А40СМ16К, а УС-25 и ФБХ-6-2 – шлифовальным кругом из карбида кремния 64С25СМ16К.

Оптимальные значения скоростей съема металла наплавок, соответствующие минимуму удельной себестоимости Q_M : для сормайта $Q_M = 7 \text{ см}^3/\text{мин}$; для УС-25 $Q_M = 4 \text{ см}^3/\text{мин}$; для ФБХ-6-2 $Q_M = 4,5 \text{ см}^3/\text{мин}$; для ПГ-ХНЭОСРЗ $Q_M = 3 \text{ см}^3/\text{мин}$.

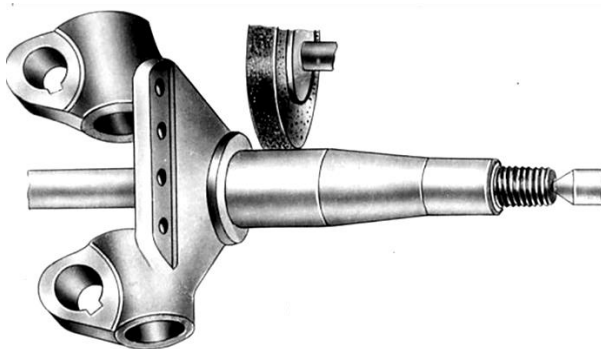


Рис. 4.2 – Схема шлифования под окончательный размер восстановленных поверхностей деталей

Выборочные значения минутной поперечной подачи круга, соответствующие оптимальной скорости съема металла, представлены в табл. 4.3 в зависимости от диаметра и ширины шлифования поверхностей, наплавленных различными сплавами.

Шероховатость поверхности можно регулировать, улучшая качество круга, которое при его правке зависит от скорости подачи алмазно-металлического карандаша, при подаче которого, например, со скоростью $0,1 \text{ мм}/\text{об}$ шероховатость поверхности Ra составляет $0,4...0,8$. Припуск на окончательную механическую обработку не должен превышать $0,3 \text{ мм}$ на сторону.

Таблица 4.3

Минутная поперечная подача шлифовального круга

Диаметр обрабатываемой поверхности, мм	Частота вращения детали, об/мин	Материал покрытия	Подача, мм/мин, при длине шлифования, мм			
			15	25	35	45
40	95	Сормайт	3,9	2,3	1,67	1,3
50	75	- ✧ -	3,1	1,85	1,3	1,0
60	65	- ✧ -	2,6	1,55	1,1	0,87
70	55	- ✧ -	2,2	1,3	0,96	0,74
40	95	ФБХ-6-2, УС-25	2,2	1,3	1,0	0,74
50	75	- ✧ -	1,8	1,0	0,78	0,6
60	65	- ✧ -	1,5	0,9	0,64	0,5
70	55	- ✧ -	1,25	0,76	0,47	0,4

Шероховатость поверхности можно регулировать, улучшая качество круга, которое при его правке зависит от скорости подачи алмазно-металлического карандаша, при подаче которого, например, со скоростью 0,1 мм/об шероховатость поверхности Ra составляет 0,4...0,8. Припуск на окончательную механическую обработку не должен превышать 0,3 мм на сторону.

Чистовую обработку наплавленных поверхностей осуществляют шлифовальным кругом из электрокорунда белого повышенного качества 39А, зернистостью 24...40, твердостью СМ2...С1 с керамической связкой. Для уменьшения шероховатости поверхности и снижения погрешности геометрической формы в конце цикла шлифования предусмотрено выхаживание в течение 0,1...0,15 мин. Режимы чистового шлифования наплавленных деталей приведены в таблице 4.4.

Обработка деталей с газотермическими покрытиями

Чтобы увеличить прочность сцепления газотермических покрытий с основным металлом перед напылением проводят предварительную механическую обработку детали на токарных станках, заключающуюся в нарезании рваной резьбы, кольцевых канавок, кривой сетчатой накатки поверхности. В этом случае режим

обработки и выбор материала инструмента зависят от материала и габаритов детали и от требуемой шероховатости поверхности.

Таблица 4.4

Режимы чистового шлифования наплавленных поверхностей

Вид шлифования	Обрабатываемый материал	Твердость HRC	Скорость съема металла, мм ³ /мин	Стойкость круга, мин
Предварительное	Нп-65Г,	45...52	10 000...12 000	10...12
	Нп-30Х,	45...52	10 000...12 000	10...12
	ГСА	42...54	8 000...10 000	10...12
Окончательное	Св-08Г, 2С,	25...45	1 000... 1 500	40...50
	Нп-65Г,	45...55	1 000... 1 500	40...50
	Нп-30Х,	45...55	1 000... 1 500	40...50
	ГСА	45...54	1 000... 1 500	40...50

В зависимости от назначения восстанавливаемой детали и предъявляемых требований режим механической обработки газотермического покрытия составляют следующие параметры: скорость вращения круга – 35 м/с; скорость вращения детали при предварительном шлифовании – 15...20 м/мин, а при окончательном – 20...25 м/мин; минутная поперечная подача не превышает 0,15 мм/мин.

К шероховатости ее поверхности и точности применяют размерную или безразмерную механическую обработку покрытия. Если разнотолщинность газотермического покрытия превышает допуски, применяют размерную обработку резанием, шлифованием или полировкой. Если необходимо придать напыленной поверхности лишь требуемую степень чистоты, применяют различные виды безразмерной обработки.

Детали с напыленными газотермическими покрытиями подвергают различным видам механической обработки – точению, шлифованию, сверлению, строганию, хонингованию, а также слесарной опиловке, шавровке, анодно-механической и электроискровой обработке. Механическая обработка металлических покрытий может осуществляться не только в результате съема материала, но и методами пластической деформации – обкаткой роликом, обработкой металлическими щетками, дробью и т.п.

Однако своеобразие структуры напыленных покрытий, сложенных из отдельных частиц, обладающих пониженными когезионной прочностью и теплопроводностью и содержащих при напылении на воздухе включения оксидов и нитридов, требует выбора наиболее целесообразного вида инструмента и использования специальных режимов обработки.

Наиболее часто используют точение и шлифование. Выбор способа и режимов обработки зависит от свойств покрытия и его эксплуатационного назначения. Исследования режимов точения напыленных покрытий показали целесообразность применения скорости резания в пределах 15...45 м/мин и подачи 0,10...0,15 мм/об при черновой и 0,05...0,08 мм/об при чистовой обточке.

При токарной обработке покрытий из стали и цветных сплавов (кроме никелевых самофлюсующихся) обычно используют резцы из твердых сплавов ВК2, ВК6, ВКЗМ, Т15К6 и т. п. При точении плазменных покрытий из тугоплавких оксидов применяют инструмент с механическим креплением четырехгранных твердосплавных пластин марок ВК60М и ВК60М+TiC или резцовые вставки, оснащенные поликристаллами Эльбор-Р или ПТНБ. Покрытия из самофлюсующихся сплавов успешно обрабатывают резцами из Гексанита-Р и Эльбора-Р.

Наиболее распространенным методом механической обработки плазменных покрытий является шлифование. В качестве инструмента в большинстве случаев используют алмазные круги из карбида кремния, реже – корундовые или из эльбора. При выборе типа алмазных кругов рекомендуют 100...125 %-ную концентрацию алмазного зерна. Высокая концентрация алмаза создает большую поверхность резания, снижает степень нагрева покрытия и обеспечивает более экономичное использование кругов. Обычно используют круги на органической (бакелитовой) или керамической связке. Достижимая чистота обработки определяется крупностью зерна алмаза. Так, размер зерна АСВ 12 (125...160 мкм) позволяет получить поверхность с показателем шероховатости $Ra = 0,063...0,125$ мкм. При крупности зерна АСВ 5 (50...63 мкм) достигается $Ra = 0,032...0,050$ мкм, при М40 $Ra = 0,020...0,040$ мкм.

Шлифование должно проводиться с подачей охлаждающей жидкости. Наилучшим вариантом охладителя является вода с добавкой 5 % эмульсола Э-2 при его расходе 0,6...0,85 л/мин. Окружная скорость шлифовального круга – 25...35 м/с; поперечная подача – не более 12,5 мкм за проход; продольная подача не более 2 мм за 1 оборот; окружная скорость вращения или скорость продольного перемещения детали 12...36 м/мин.

Шероховатость поверхности с $Rz = 0,04...0,08$ мкм получают притиранием поверхности после шлифования кругом с зерном АСВ5. Достижимая чистота зависит от крупности алмазных микропорошков и составляет, например, для покрытия из ВК9 при крупности зерна микропорошка АСМ7 $Rz = 0,080...0,100$ мкм; АСМ5 – $Rz = 0,04-0,08$ мкм; при АСМ2 – $Rz = 0,0254...0,05$ мкм.

Для шлифования покрытий из самофлюсующихся сплавов после термообработки (оплавления) используют круги из зеленого карбида кремния марки КЗ зернистостью М25, М40 и твердостью СМ1...СТ1, а также из эльбора (ЛПП СЮ Л12 100 %-ной концентрации).

Иногда для повышения экономичности процесса используют комбинированную технологию, при которой черновое шлифование проводят алмазными кругами, а чистовое – кругами из карбида кремния.

При сверлении, строгании, фрезеровании или слесарной обработке покрытий технологические приемы должны исключать нагрузку покрытий на растяжение или изгиб. При нарезании резьбы она, по возможности, должна начинаться в основном металле, для чего покрытие следует раззенковать и снять фаску.

В результате механической обработки в поверхностном слое покрытия возникают пластическая деформация, наклеп, нагрев, внутренние остаточные напряжения, что приводит к снижению прочности сцепления покрытия с основой (на 15...30 %), изменению открытой пористости покрытия (снижение пористости при черновом точении достигает 15 %, при чистовом – 25 %, при шлифовании – 55 %). В том случае, если необходимо сохранить открытую пористость и достичь высокой чистоты поверхности, может быть использована анодно-механическая обработка.

Анодно-механическая обработка и её разновидности

Анодно-механическая обработка (АМО) основана на комбинированном механическом, электроэрозионном и электрохимическом воздействии на снимаемый слой (рис. 4.2). С увеличением удельной мощности, подводимой в зону обработки, этот метод по характеру электрического воздействия приближается к электроэрозионному, а при снижении удельной мощности – к электрохимическому. Чистовым и вместе с тем высокопроизводительным методом АМО является анодно-абразивное шлифование (ААШ) или анодно-механическое шлифование (АМШ). Круг для АМШ состоит из абразивных зерен, связки и электропроводного наполнителя. Обычно его изготавливают из электрокорунда и зеленого карбида кремния на бакелитовой связке; электропроводность достигается добавкой графита, пропиткой круга расплавленным свинцом, использованием специальных стальных или медных дисков. Электролиты представляют собой водные растворы калиевой или натриевой селитры с добавками ингибитора коррозии – нитрита натрия. Таким электролитом является водный раствор, содержащий 10% KNO_3 и 0,5% NaNO_2 .

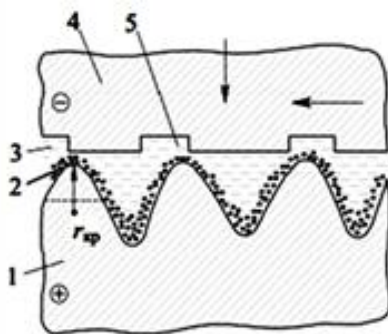


Рис. 4.2 – Схема анодно-механической обработки [20]:

1 – обрабатываемая деталь; 2 – пассивная пленка; 3 – электролит; 4 – электрод-инструмент; 5 – канавка

Преимущества АМО: высокая производительность на черновых режимах и высокое качество обработанной поверхности на

чистовых режимах, возможность обрабатывать любые труднообрабатываемые металлы и сплавы, сравнительно легко удалять и утилизировать продукты обработки, варьировать режимы обработки в широких диапазонах. Вид электрического тока при АМО определяет производительность обработки. При постоянном токе она возрастает в сравнении с переменным почти в 2 раза. Применение пульсирующего тока, т. е. однофазного переменного тока после двухпериодного выпрямления, повышает производительность по сравнению с постоянным на 20...30%.

К недостаткам метода можно отнести эксплуатационные неудобства использования жидкого стекла в качестве электролита, сравнительную сложность в эксплуатации и высокую стоимость оборудования.

Съем металла при АМО обусловлен возникновением в зоне обработки следующих явлений:

- а) анодное растворение материала, приводящее к снятию части металла срезаемого слоя и образованию пленки;
- б) нагрев материала срезаемого слоя;
- в) электроэрозионное разрушение;
- г) механическое срезание металла абразивом, предварительно ослабленного анодным воздействием, тепловым и электроэрозионными процессами.

Обрабатываемое изделие (анод) и электрод-инструмент (катод) обычно включают в цепь постоянного тока низкого напряжения (до 30 В). Электролитом служит водный раствор силиката натрия Na_2SiO_3 (жидкого стекла), иногда с добавлением солей других кислот. В качестве материалов для электродов-инструментов применяют малоуглеродистые стали (08 кп, 10, 20 и др.). Под действием тока металл изделия растворяется и на его поверхности образуется пассивирующая плёнка. При увеличении давления инструмента на изделие плёнка разрывается и возникает электрический разряд. Его тепловое действие вызывает местное расплавление металла. Все три процесса – электрохимическое растворение, механическое и электроэрозионное разрушение – тесно связаны между собой, образуя единый процесс АМО. Образующийся шлам выбрасывается движущимся инструментом.

Изменяя электрический режим и давление, можно получить изделия с различной шероховатостью поверхности (до 9-го класса чистоты).

При АМШ, как одной из разновидностей АМО, (рис. 4.3) давление круга на обрабатываемую поверхность является одним из важнейших его параметров, т. к. оно определяет степень внедрения режущих зерен и величину рабочего зазора между токопроводящей связкой и деталью, который весьма мал (0,01...0,03 мм), что обеспечивает высокие плотности тока и интенсивное электрохимическое и электроэрозионное воздействие. Достоинством АМШ, в сравнении с обычным шлифованием, является еще отсутствие значительного тепловыделения, поэтому в поверхностном слое не возникают значительные структурные превращения и внутренние напряжения.

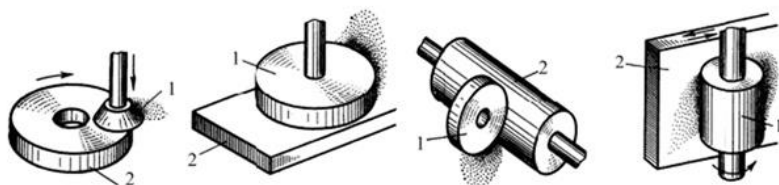


Рис. 4.3 – Анодно-механическое шлифование [20]:

1 – вращающийся металлический диск (катод); 2 – обрабатываемая деталь

Анодно-механическое полирование производят специальной головкой, несущей полировальники и совершающей вращательное и возвратно-поступательное движения. Полировальники изготавливают из мягких пород дерева, пластмасс или абразивных брусков. Зазор между головкой и заготовкой заполняют электролитом с высокодисперсным абразивным порошком, находящимся во взвешенном состоянии. Электролитом являются водные растворы солей серной, азотной, соляной и других кислот, а абразивным порошком – окиси хрома или алюминия. Сглаживание шероховатостей происходит путем формирования на высту-

пах пассивной пленки с последующим ее механическим удалением под воздействием полировальных и абразивного порошка.

Обработка деталей с гальваническими покрытиями

За последнее время все больше при восстановлении деталей стали занимать электролитические покрытия твердого железа, которые отличаются от других электролитических покрытий не дефицитностью применяемых материалов, высокими эксплуатационными свойствами и технико-экономическими показателями. В то же время механическая обработка деталей, восстанавливаемых твердым железом, представляет определенные трудности, обусловленные специфическими свойствами твердого электролитического железа, которые выражаются его двойственной природой: с одной стороны, это практически чистое железо с содержанием углерода 0,04... 0,06 %, с другой – высокая микротвердость H_{μ} , достигающая значений 5500...6500 МПа и выше. Специфические свойства электролитического железа определяют и своеобразие металла на внешние воздействия при механической обработке, например, температуру и давление.

Механическую обработку твердых железных покрытий выполняют на шлифовальных и в меньшей степени на токарных станках. Особенности физико-механических свойств железных покрытий определяют характер стружкообразования, шероховатость обработанных поверхностей и износ режущего инструмента. Небольшие припуски на механическую обработку при наращивании деталей электролитическим железом, вызывают необходимость применения в процессе обработки небольшие глубины резания $t = 0,15...0,20$ мм и подачи $s = 0,15...0,20$ мм/об.

При обработке на токарных станках коэффициент усадки стружки близок к единице (0,96...1,2), что характерно для металлов с повышенной хрупкостью и пониженной вязкостью. Характерной особенностью обработки твердого железа является уменьшение силы резания с увеличением скорости резания и снижением подач. Необходимо отметить, что минимальное значение силы резания принимает при значении переднего угла заточки

резца (рис. 4.4) $\gamma = -2...0$ град., главном заднем угле $\alpha = 7...10$ град., углах в плане $\varphi = 35...40$ град. и $\varphi_1 = 10$ град. и радиусе закругления резца при вершине $0,5...0,8$ мм.

Резцы при обработке твердого железа желателно затачивать на универсально-заточных станках алмазными чашечными кругами АЧК или плоскими кругами АПК. Зернистость алмазных кругов 125/100...80/63, органическая связка Б1 (карбид бора, кульверкарбид). В качестве материала для режущего инструмента целесообразно применять ТЗОК4, Эльбор-Р и Гексалит-Р.

Точение не во всех случаях обеспечивает требования по точности и шероховатости восстановленных твердым железом деталей. Более производительным методом обработки, обеспечивающим высокую точность и малую шероховатость обрабатываемых поверхностей, является шлифование.

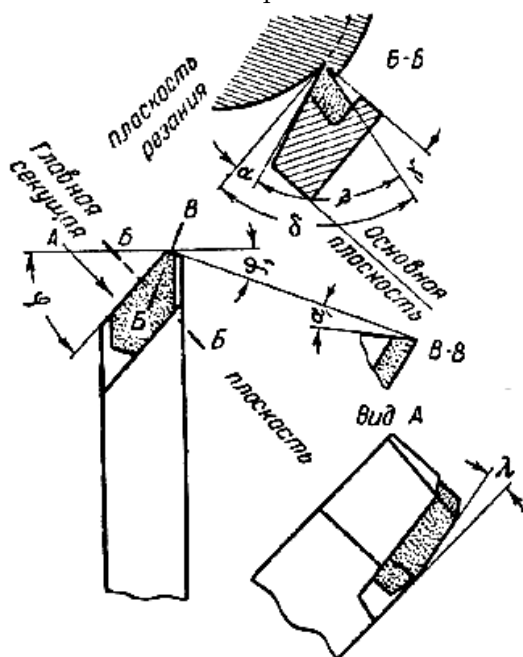


Рис. 4.4 – Углы резца [21]:

α (альфа) – главный задний; γ (гамма) – передний; β (бета) – заострения; φ (фи) – главный в плане; φ_1 – вспомогательный в плане; λ (лямбда) – угол наклона режущей кромки

Для обработки шлифованием твердого электролитического железа характерна работа абразивных кругов с притуплением, вследствие чего возрастает округлость граней у зерен. Эта особенность проявляется в росте усилия резания на 40 % (при переходе с абразивных кругов твердости СМ1 на твердость СТ1) при постоянстве условий обработки. С повышением твердости абразивных кругов наблюдается переход работы круга из области работы с притуплением в область работы круга с налипанием обрабатываемого металла на режущих гранях зерна, чем и объясняется рост шероховатости Ra обрабатываемой поверхности твердого железа. Наиболее рациональным абразивным кругом является круг 33А40СМ2К. Для получения поверхностей с шероховатостью $Ra = 0,16...0,32$ мкм (также шлифованием) целесообразно применять круги 24А25СМ2К.

Поперечная подача $S_{\text{поп}}$ оказывает влияние на внедрение зерен круга в металл. Увеличение контакта круга с деталью способствует возрастанию температурных полей, что снижает качество поверхности. Увеличение поперечной подачи $S_{\text{поп}}$ с 0,005 до 0,025 мм вызывает рост температуры в 1,75 раза, интенсивность разупрочнения поверхностных слоев и шероховатость поверхности увеличиваются в 2,9 раза, а режущая способность абразивного круга – в 1,77 раза. При этом повышается нагрузка на абразивное зерно, оно глубже проникает в обрабатываемый материал. Это сопровождается ростом температурных полей в обрабатываемом материале до 400...435 °С и разупрочнением поверхностных слоев на 10...13 %. Необходимо отметить, что применять при шлифовании продольные подачи свыше 0,012 мм нецелесообразно из-за ухудшения качества поверхностного слоя электролитического покрытия.

В качестве специальной охлаждающей жидкости (СОЖ) при шлифовании твердого железа целесообразно применять 1 %-ный раствор соды в воде, который наибольшим образом понижает температуру в зоне резания.

Перспективные способы механической обработки восстанавливаемых деталей

К перспективным способам механической обработки восстанавливаемых деталей следует отнести абразивно-лезвийную обработку (АЛО), заключающуюся в разупрочнении наплавленного металла. Источником нагрева является специальный абразивный круг, работающий в режиме самозатачивания с дополнительным выделением тепла в контактную зону и расположенный таким образом с учетом режима резания лезвия. Это обеспечивает местный прогрев на глубину, не превышающую глубины резания. Оптимальные условия нагрева соответствуют минимальному теплоотводу в обрабатываемую деталь, и, что особенно важно, тепло нагрева не поступает к передней поверхности резца (рис. 4.5). В результате смещения абразивного круга по его высоте (на $1/3 \dots 1/2$ по отношению к поверхности резания резца) удаляется корка наплавленного металла, что позволяет вести резание восстанавливаемых деталей твердосплавным инструментом.

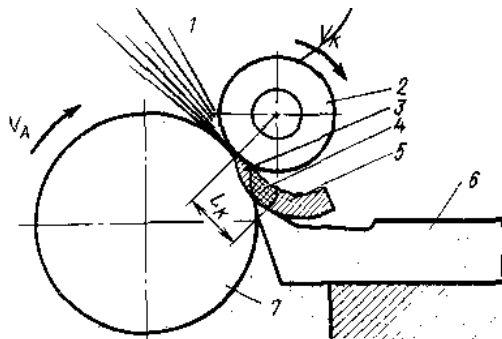


Рис. 4.5 – Схема абразивно-лезвийного способа обработки [1]:
1 – металлоабразивный факел; 2 – абразивный «тепловой» силовой круг; 3 – зона сдвиговых деформаций; 4 – нагретая зона; 5 – холодная зона; 6 – резец; 7 – восстанавливаемая деталь; L_k – длина дуги контакта; V_A – скорость вращения восстанавливаемой детали; V_K – скорость вращения абразивного круга

Обрабатывают детали с использованием абразивных кругов, имеющих характеристики ПП150Х20Х32, 38А200ВТБ. У резца

АЛО с пластинчатой напайкой из твердого сплава ВК8 главный передний угол $\gamma = 0 \text{ град.}$; главный задний угол $\alpha = 8 \text{ град.}$; углы в плане $\varphi = \varphi_1 = 45 \text{ град.}$ Скорость резания при обработке составляет 8 м/мин , скорость шлифования – 47 м/с , диапазон регулирования усилия прижима круга – $10 \dots 500 \text{ Н}$. Производительность при АЛО повышается в результате увеличения скорости резания и подачи, что, в свою очередь, создает ограничения по пластической износостойкости инструмента.

При восстановлении деталей износостойкими материалами последующая обработка лезвийным инструментом затруднена из-за высокой стойкости покрытия, наличия ударных нагрузок в результате значительной микронеровности покрытия и шлаковых включений в слое. Способ электрохимического шлифования, схема которого представлена на рис. 4.6, в значительной степени позволяет повысить эффективность обработки восстанавливаемых деталей. Токпроводящий шлифовальный круг 3 при помощи скользящего контакта 2 соединяют с отрицательным полюсом источника постоянного тока 1, а обрабатываемую деталь 5 – с положительным полюсом. В зону обработки подают электролит 4. Силу тока регулируют реостатом 6.

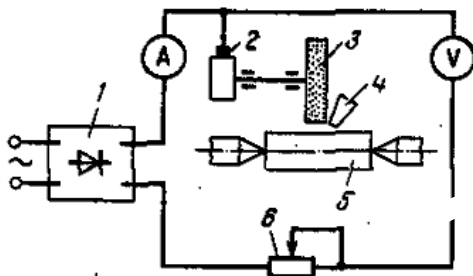


Рис. 4.6 - Схема электрохимического шлифования

Абразивные или алмазные зерна шлифовального круга 3, выступая из электропроводной связки, создают зазор между связкой и поверхностью обрабатываемой детали 5. В зазор подают электролит 4. Под действием электрического тока происходит анодное растворение поверхности детали, а зерна вращающегося

круга 3 удаляют продукты растворения. В качестве режущего инструмента применяют абразивные и алмазные круги на токопроводящих связках типа М1, М5, СЭШ-1, СЭШ-2, основными компонентами в которых являются *Cu*, *Zn*, *Al*.

В качестве рабочей среды используют токопроводящие растворы электролитов, обеспечивающие необходимое качество поверхности, требуемые точность и производительность и не вызывающие коррозии незащищенных частей оборудования. Таким условиям отвечают растворы нейтральных солей с различными добавками ингибиторов для придания им антикоррозионных свойств. Хорошие результаты дает применение электролита, содержащего 2...3 % $NaNO_3$ и 0,2...0,3 % $NaNO_2$. Присутствующий в этом электролите нитрит натрия является одновременно и антикоррозионной добавкой. Применяют также другие электролиты, в состав которых наряду с азотнокислым натрием входят сегнетовая соль, сульфиты и фосфаты натрия, олеиновая кислота и другие компоненты. Обработку проводят при окружной скорости круга 20...25 м/мин и скорости детали 5...6 м/мин.

Эффективность процесса шлифования зависит от плотности тока, удельного давления круга и состава электролита. Рекомендуемые режимы для различных видов обработки при расходе электролита 2,0...2,5 л/мин приведены в табл. 4.5.

Таблица 4.5

Режимы обработки твердых покрытий электрохимическим шлифованием [1]

Вид шлифования	Напряжение, В	Плотность тока, А/дм ³	Давление круга, МПа	Скорость съема металла, мм ³ /мин
Предварительное	10...12	150...200	1,2...1,5	800...1200
Окончательное	6...8	90...120	0,4...0,6	200...300

Для чернового шлифования крупных деталей – шеек коленчатых валов дизельных двигателей внутреннего сгорания, восстановленных наплавкой твердосплавными материалами, разработан способ электроконтактного шлифования чугуном кругом. В

качестве рабочей жидкости применяют 5 %-ный раствор эмульсола в воде. Шлифование проводят при оптимальных режимах: напряжении источника постоянного тока 25 В, силе тока 600...1500 А прямой полярности, скорости вращения инструмента (чугунного диска) 40...50 м/с, детали 0,30...0,60 м/с. При соблюдении указанных режимов интенсивность снятия припуска достигает 0,23...0,60 см/с, а зона термического воздействия не превышает 0,1 мм, продолжительность черновой обработки одной шейки вала сокращается в 3...5 раз.

Результаты научно-исследовательских работ от заготовительного до ремонтно-восстановительного производства, включая достижения ресурсосберегающих технологий неразрушающего ультразвукового контроля технологических процессов при диагностировании, выявлении отклонений от нормируемых параметров, образовательные технологии формирования профессиональных компетенций выпускников профессиональных образовательных организаций [22-59] являются, в конечном итоге, гарантом предупреждения нарушений технологических режимов, брака, низкой производительности труда, неэффективности использования нового оборудования, существенных затрат на профессиональную адаптацию до требуемого уровня квалификации и профессиональной дееспособности соответственно современным требованиям работодателей.

Контрольные вопросы

1. Какие погрешности возникают при механической обработке?
2. Как устанавливаются режимы резания на операцию механической обработки наплавленных покрытий?
3. Какие основные параметры режима устанавливаются при механической обработке наплавленных покрытий?
4. Сущность электрохимического шлифования?
5. Изложите последовательность механической обработки наплавленных покрытий.
6. Каковы особенности механической обработки Cr-покрытий?
7. Каковы особенности механической обработки деталей, подвергнутых осталиванию?

8. Назовите основные параметры электрохимического шлифования покрытий.
9. Из-за чего затрудняется механическая обработка покрытий из износостойких материалов лезвийным инструментом?
10. Что определяет производительность абразивно-лезвийной обработки покрытий?
11. Сущность анодно-механической обработки, её применение?
12. Сущность электрохимического шлифования?

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Восстановление деталей механической обработкой [Электронный ресурс]. URL: <http://stroy-technics.ru/article/vosstanovlenie-detaleimekhaniches-koi-obrabotkoi>.
2. Наплавка и сварка в среде углекислого газа [Электронный ресурс]. – URL: http://avtomehi.ru/index/naplavka_v_srede_uglekislogo_gaza/0-689.
3. Наплавка под слоем флюса: сущность, преимущества и недостатки [Электронный ресурс]. – URL: <http://stalevarim.ru/pub/naplavka-pod-sloem-flusa/>.
4. Восстановление деталей сваркой и наплавкой [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.samsvar.ru/stati/vosstanovlenie-detalej-svarkoj-i-naplavkoj.html>.
5. Лазерная наплавка – износостойкие поверхности для любых металлических деталей [Электронный ресурс]. – URL: <http://tutmet.ru/lazernaja-naplav-ka-svarka-poverhnosti-metalla-tehnologija.html>.
6. Технология лазерной наплавки [Электронный ресурс]. – URL: https://www.irslaser-tech.ru/tehnologii/lazernaya_naplavka.
7. Лазерная обработка – инструмент для современного производства [Электронный ресурс]. URL: http://www.lasercutt.ru/info/lazernaya_obrabotka__instr.html.
8. Электродуговая металлизация [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.tehnap.ru/49-yelektrodugovaya-metallizaciya-metallization.html>.
9. Степанова Т.Ю. Технологии поверхностного упрочнения деталей машин: учеб. пособие. Иван. гос. хим.-технол. ун-т. - Иваново, 2009. 64 с. [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.isuct.ru/e-publ/portal/sites/ru.e-publ.portal/files/dep/mech/2003128.pdf>.
10. Газопламенное напыление, металлизация [Электронный ресурс]. – URL: <https://ecm-zink.ru/info/stati/gazoplamennoe-napyi-lenie-i-metallizacziya.html>.
11. Восстановление деталей металлизацией [Электронный ресурс]. – URL: <http://ea.donntu.org:8080/bitstream/pdf>.

12. Особенности выполнения плазменного напыления: характеристика и задачи диффузной металлизации [Электронный ресурс]. – URL: <https://kraska.guru/specmaterialy/drugie-pokrytiya/plazmennoe-napylenie.html>.

13. Восстановление деталей электролитическими способами [Электронный ресурс]. – URL: <https://mehanik-ua.ru/lektzii-trm/80-vosstanovlenie-detalej-elektroliticheskimi-sposobami.html>.

14. Восстановление деталей осталиванием [Электронный ресурс]. – URL: <http://refleader.ru/yfsmerbewaty.html>.

15. Никелирование [Электронный ресурс]. – URL: <https://zctc.ru/sections/nickel/>.

16. Основы технологии производства и ремонта автомобилей [Электронный ресурс]. – URL: <https://studfiles.net/preview/2069495/page:57/>.

17. Механическая обработка покрытий [Электронный ресурс]. – URL: <https://studfiles.net/preview/5281393/page:5/>.

18. Анодно-механическая обработка [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.4ne.ru/stati/rezka-metallov/anodno-mexanicheskaya-obrabotka.html>.

19. Анодно-механическая обработка [Электронный ресурс]. – URL: <https://cyberpedia.su/9x9c11.html>.

20. Анодно-абразивная и анодно-механическая обработка [Электронный ресурс]. URL: http://www.eti.su/articles/elektricheskie-mashini/elektricheskie-mashini_1464.html.

21. Основы теории резания металлов [Электронный ресурс]. – URL: http://tehinfor.ru/s_3/rezanie.html.

22. Влияние тернарности представления учебной информации на повышение креативности обучающихся / В.А. Белевитин, Е.А. Гафарова, Ю.В. Корчемкина, О.Н. Шварцкоп // European Social Science Journal. 2017. № 6. С. 194–200.

23. Risk Management Based on Model of Competences when Introducing Innovative Information Technology / S.A. Bogatenkov, V.A. Belevitin, M.L. Khasanova // International Journal of Engineering & Technology, 2018. V.7, No 4.38. pp. 78-81.

24. Integrated Approach to Modeling IC Competence in Students. International / V.A. Belevitin, S.A. Bogatenkov, V.V. Rudnev,

M.L. Khasanova, A.I. Tyunin // *Journal of Engineering & Technology*, 2018. V.7, No 4.38. pp. 60-62.

25. The Approbation of a Mathematical Model of the Influence of Three-Level Semantic Representation of a Educational Message on the Dynamics of Students' Creativity / Ye. Gafarova, V. Belevitin, Yu. Korchemkina, Ye. Smirnov, M. Khasanova // *International Journal of Engineering & Technology*, 2018. V.7, – No 4.38. – pp. 171-173.

26. Пропедевтика инженерной культуры обучающихся: инновации в образовании: колл. монография / Л.М. Базавлуцкая, В.А. Белевитин и [др.]. – Челябинск, 2017.

27. Профессионально-педагогическое образование на рубеже веков: колл. монография / Е.А. Гнатышина, Г.А. Герцог,..., В.А. Белевитин. – Челябинск, 2014.

28. Идентификация универсальных компетенций выпускников работодателем / Э. Зеер, Д. Заводчиков // *Высшее образование в России*, 2007. – № 11. – С.39-46.

29. Оценка профессиональных компетенций [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.hse.ru/data/2015/04/29/1098176151.pdf>.

30. DEFECT HEALING IN THE AXIAL ZONE OF CONTINUOUS-CAST BILLET / Y. N. Smyrnov, V.A. Skliar, V.A. Belevitin, e. al. // *Steel in Translation*. 2016. – Т. 46. – № 5. – pp. 325-328.

31. Смирнов Е.Н. ТЕХНОЛОГИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ: ПРОИЗВОДСТВО ГОРЯЧЕКАТАНЫХ БЛОМОВ И СОРТОВЫХ ЗАГОТОВОК: учебное пособие / Е.Н. Смирнов, В.А. Белевитин, В.А. Скляр, В.В. Кисиль. – Челябинск, Изд-во ЧГПУ, 2016.

32. УЛЬТРАЗВУКОВОЙ СПЕКТРАЛЬНЫЙ МЕТОД ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ЭЛЕКТРОЛИТА Н.И. БРАЖНИКОВА / А.И. Бражников, В.А. Белевитин, Ф.И. Бражников, Е.Н. Лавлинская, А.И. Вольхин // *Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика*. 2005. – № 3. – С. 54-56.

33. О ВЫБОРЕ ОПТИМАЛЬНОГО СООТНОШЕНИЯ ДИАМЕТРОВ ВАЛКОВ И ЗАГОТОВКИ ДЛЯ ВИНТОВОЙ ПРОКАТКИ / Р.М. Голубчик, В.К. Воронцов, В.А. Белевитин // *Сталь*. 1982. – № 8. – С. 64-66.

34. PHYSICAL AND COMPUTER MODELING OF A NEW SOFT REDUCTION PROCESS OF CONTINUOUSLY CAST BLOOMS / Y. Smyrnov,

V. Skliar, V. Belevitin, G. Orlov // Journal of Chemical Technology and Metallurgy. 2015. – Т. 50. – № 6. – С. 589-594.

35. УЛЬТРАЗВУКОВОЙ КОНТРОЛЬ И РЕГУЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ / Н.И. Бражников, В.А. Белевитин, А.И. Бражников. – М.: Изд-во "Теплотехник", 2008. – 256 с.

36. МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ. СВОЙСТВА МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ: учеб. пособие / В.А. Белевитин. – Челябинск, Изд-во ЧГПУ, 2012.

37. МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ. РАСХОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ АВТОТРАНСПОРТНОЙ ТЕХНИКИ: учебное пособие / А.Г. Карпенко, В.А. Белевитин. – Челябинск, Изд-во ЧГПУ, 2013. – 236 с.

38. АВТОМОБИЛЬНЫЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ: сб-к лабораторных работ / А.Г. Карпенко, К.В. Глемба, В.А. Белевитин. – Челябинск, Изд-во ЧГПУ, 2014. – 124 с.

39. ОПЕРАЦИОННО-ЗАЧЕТНЫЕ РАБОТЫ ПО ОБЩЕСЛЕСАРНОЙ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ПРАКТИКЕ: сб-к лабораторных работ / В.А. Белевитин, А.В. Суворов, Е.П. Меркулов. – Челябинск, Изд-во ЧГПУ, 2015. – 184 с.

40. К ПОСТАНОВКЕ И РЕШЕНИЮ ОБЪЕМНОЙ ЗАДАЧИ ПЛАСТИЧЕСКОГО ТЕЧЕНИЯ МЕТОДАМИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ МЕХАНИКИ / В.К. Воронцов, П.И. Полухин, В.А. Белевитин, В.В. Бринза // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 1976. – № 4. – С. 75-80.

41. О МОДЕЛИРОВАНИИ ПЛАСТИЧЕСКОГО ФОРМОИЗМЕНЕНИЯ РАСКАТОВ С НЕРАВНОМЕРНЫМ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ ТЕМПЕРАТУРЫ ПО СЕЧЕНИЮ НА ПЛАСТИЛИНОВЫХ МОДЕЛЯХ / А.А. Минаев, Е.Н. Смирнов, В.А. Белевитин // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 1992. – № 4. – С. 57-59.

42. ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛЕЙ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ПРИ ПРОКАТЕ КВАДРАТНОЙ ПОЛОСЫ В ОВАЛЬНОМ КАЛИБРЕ / В.К. Воронцов, Ю.С. Атеф, В.В. Бринза, В.А. Белевитин // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 1977. – № 5. – С. 101-105.

43. SIMULATION OF THE MACROSTRUCTURE INFLUENCE OF FORGING INGOTS ON THE POTENTIAL CAPABILITIES OF OBTAINING HIGH-QUALITY FORGINGS / V.A. Belevitin, Y.N. Smyrnov,

S.Y. Kovalenko, A.V. Suvorov // Metallurgical and Mining Industry. 2016. – № 7. – С. 18-23.

44. ПРОМЫШЛЕННЫЕ ИСПЫТАНИЯ МЕЛЮЩИХ ШАРОВ ПОВЫШЕННОЙ ТВЕРДОСТИ ПРИ ИЗМЕЛЬЧЕНИИ ЖЕЛЕЗИСТЫХ КВАРЦИТОВ / А.И. Серов, Е.Н. Смирнов, В.А. Скляр, В.А. Белевитин // Обогащение руд. 2017. – № 3 (369). – С. 15-20.

45. AN ULTRASOUND METHOD FOR CONTROLLING THE QUALITY OF SHAPED FORGINGS / I.P. Belevitina, N.I. Brazhnikov, V.A. Belevitin // Metallurgist. 1996. – Т. 39. – № 10. – С. 198.

46. COMPLETE EVALUATION OF EXTRUDED ALUMINUM SECTION AND SEMIPRODUCT MECHANICAL PROPERTIES UNDER CONDITIONS OF TYPICAL REGIONAL MANUFACTURER ALTEK / E.N. Smirnov, V.A. Sklyar, M.V. Mitrofanov, O.E. Smirnov, V.A. Belevitin, A.N. Smirnov // Metalurgist, 2018. Vol. 61, – No. 9-10, – pp. 878-883.

47. Producing Structural-Steel Bar from Continuous-Cast Billet / A.N. Smirnov, E.N. Smirnov, V.A. Sklyar, V.A. Belevitin, e. al. // Steel in Translation, 2018. – Vol. 48, – No. 4, – pp. 233–239.

48. Effects of Decreasing the Initial Rolling Temperature in Three-High Roughing Stands / E.N. Smirnov, A.N. Smirnov, V.A. Sklyar, V.A. Belevitin, S.P. Eron'ko, R.E. Pivovarov // Steel in Translation, 2018. – Vol. 48, – No. 6, – pp. 381–387.

49. Behavior of Structural Defects of Already-Deformed Continuous Cast Bar on Rolling / E.N. Smirnov, V.A. Sklyar, O.E. Smirnov, V.A. Belevitin, e. al. // Steel in Translation, 2018, – Vol. 48, – No. 5, – pp. 289–295.

50. МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕСУРСОВ ПОВЫШЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ КРУПНЫХ ГОРОДОВ / В.В. Руднев, М.Л. Хасанова, В.А. Белевитин. – Челябинск, 2017. – 88 с.

51. Компетентностно-ориентированное управление подготовкой кадров в условиях электронного обучения: коллективная монография / С.А. Богатенков, Е.А. Гнатышина, В.А. Белевитин. – Челябинск, Изд-во ЮУрГГПУ. – 2017.

52. О понятии «Информационно-педагогический тезаурус магистранта» / В.А. Белевитин, М.Ю. Семагин. В сб. науч. трудов

«Инновационные технологии в подготовке современных профессиональных кадров: опыт, проблемы». – Челябинск: Челяб. филиал РАНХиГС. 2017. – С. 23-29.

53. ОБ УЛЬТРАЗВУКОВОМ КОНТРОЛЕ СКОРОСТИ ПОТОКА ЖИДКОСТИ БЕЗ РАССТЫКОВКИ ТРУБОПРОВОДА ПО МЕТОДУ Н.И. БРАЖНИКОВА / А.И. Бражников, В.А. Белевитин, Ф.И. Бражников, Е.Л. Иванов // Инженерно-физический журнал. 2006. – Т. 79. – № 2. – С. 131-138. Версии: ULTRASONIC CONTROL OF THE FLUID-FLOW VELOCITY WITHOUT N.I. BRAZHNIKOV'S UNDOCKING OF A PIPELINE. Brazhnikov A.I., Belevitin V.A., Brazhnikov F.I., Ivanov E.L. Journal of Engineering Physics and Thermophysics. 2006. – V. 79. – No 2. – pp. 345-353.

54. К РЕШЕНИЮ ОБЪЕМНОЙ ЗАДАЧИ СТАЦИОНАРНОГО ПЛАСТИЧЕСКОГО ТЕЧЕНИЯ МЕТАЛЛА МЕТОДОМ КООРДИНАТНОЙ СЕТКИ / В.К. Воронцов, П.И. Полухин, В.А. Белевитин и др. // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 1976. – № 9. – С. 77-80.

55. РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ПЛАСТИЧЕСКОГО ФОРМОИЗМЕНЕНИЯ СОРТОВЫХ ЗАГОТОВОК / А.А. Минаев, В.А. Белевитин, Е.Н. Смирнов // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 1990. – № 12. – С. 26-28.

56. БЕСКОНТАКТНЫЙ ОДНОКАНАЛЬНЫЙ ВРЕМЯИМПУЛЬСНЫЙ РАСХОДОМЕР ЖИДКОСТИ / А.И. Бражников, В.А. Белевитин, Е.В. Бражникова и др. // Метрология. 2004. – № 11. – С. 16-25.

57. НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ РАБОТА МАГИСТРАНТА: ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА ОРГАНИЗАЦИИ И ПРОВЕДЕНИЯ: учеб.-метод. пособие / В.А. Белевитин, Е.А. Гнатышина, И.Г. Черновол. – Челябинск, 2017.

58. МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ: рекомендации по подготовке и защите: учебно-методич. пособие / В.А. Белевитин, Е.А. Гнатышина, И.Г. Черновол. – Челябинск, 2016.

59. PRESSURE TREATMENT OF METALS MONITORING THE THICKNESS OF SUPERTHIN STEEL BY MEANS OF UD2-12 DEFECTO-SCOPES / V.A. Belevitin, A.I. Brazhnikov, E.L. Ivanov, A.K. Tarelkin // Steel in Translation. 2006. – Т. 36. – № 1. – С. 40-42.

Учебное издание

**Белевитин Владимир Анатольевич,
Смирнов Евгений Николаевич,**

**ВОССТАНОВЛЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ МАШИН:
МЕТАЛЛИЗАЦИЯ, НАПЛАВКА, СВАРКА,
МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ПОКРЫТИЙ**

Учебное пособие

ISBN 978-5-907210-43-1

Работа рекомендована РИСом университета
Протокол № (пункт), 2019 г.

Изд-во ЮУрГГПУ
454080 г. Челябинск, пр. Ленина, 69

Редактор Л.Г. Шibaкова
Компьютерный набор В.А. Белевитин

Формат 60x841/16

Бумага типографская

Тираж 100 экз.

Объем 3,3 уч.-изд. л. (3,8 п. л.)

Подписано в печать 14.01.2019

Заказ №

Отпечатано с готового оригинал-макета
в типографии ФГБОУ ВО «ЮУрГГПУ»
454080, г. Челябинск, пр. Ленина, 69