

Лекция 9 Восстановление деталей напылением

9.1 Сущность процесса и способы напыления

Напыление является одним из способов нанесения металлических покрытий на изношенные поверхности восстанавливаемых деталей. Сущность процесса состоит в напылении предварительно расплавленного металла на специально подготовленную поверхность детали струей сжатого газа (воздуха). Мелкие частицы расплавленного металла достигают поверхности детали в пластическом состоянии, имея большую скорость полета. При ударе о поверхность детали они деформируются и, внедряясь в ее поры и неровности, образуют покрытие.

Основными достоинствами напыления как способа нанесения покрытий при восстановлении деталей являются

высокая производительность процесса, небольшой нагрев деталей (120... 180 °С), высокая износостойкость покрытия, простота технологического процесса и применяемого оборудования, возможность нанесения покрытий из любых металлов и сплавов. К недостаткам процесса относят пониженную механическую прочность покрытия и сравнительно невысокую прочность сцепления его с поверхностью детали.

В зависимости от вида тепловой энергии, используемой в аппаратах для напыления при расплавлении металла, различают следующие способы напыления: газопламенное, электродуговое, детонационное и плазменное.

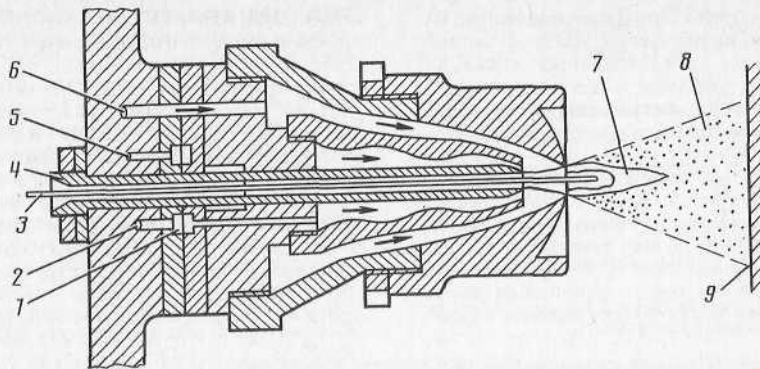


Рис. 15.1. Распылительная головка газопламенного металлатора:

1 - смесительная камера; 2 - канал подачи кислорода; 3 - проволока; 4 - направляющая втулка; 5 - канал подачи ацетилена; 6 - канал подачи сжатого воздуха; 7 - ацетилено-кислородное пламя; 8 - газометаллическая струя; 9 - напыляемая поверхность

Газопламенное напыление. Осуществляется при помощи специальных аппаратов, в которых плавление напыляемого металла производится ацетилено-кислородным пламенем, а его распыление струей сжатого воздуха (рисунок 9.1). Проволока подается с постоянной скоростью роликами, приводимыми в движение встроенной в аппарат воздушной турбинкой через червячный редуктор. Наибольшее применение для газопламенного напыления проволокой нашли аппараты МГИ-1-57, ГИМ-1 и др.

Преимуществами газопламенного напыления являются небольшое окисление металла, мелкое его распыление, достаточно высокая прочность покрытия. К недостаткам относят сравнительно невысокую производительность процесса (2... 4 кг/ч).

Электродуговое напыление. Производится аппаратами, в которых расплавление металла осуществляется электрической дугой, горящей между двумя проволоками, а распыление струей сжатого воздуха (рисунок 9.2). Для электродугового напыления отечественная промышленность выпускает аппараты ЭМ-3, -9, -14 (ручные) и ЭМ-6, МЭС-1, М-12 (станочные). Привод для подачи проволоки в зону горения электрической дуги в ручных аппаратах осуществляется от воздушной турбинки, а станочных - от электродвигателя.

Основными преимуществами электродугового напыления являются высокая производительность процесса (от 3 до 14 кг/ч), сравнительная простота применяемого оборудования и экономичность. К недостаткам относят повышенное окисление металла и большую пористость покрытия.

Детонационное напыление. При этом способе напыления расплавление металла, его распыление и перенос на поверхность детали достигаются за счет энергии взрыва смеси ацетилена и кислорода.

При напылении металла в камеру охлаждаемого водой ствола аппарата для напыления (рисунок 9.3) подаются в определенном соотношении ацетилен и кислород. Затем в камеру вводится с помощью струи азота напыляемый порошок с размером гранул 50... 100 мкм. Газовую смесь поджигают электрической искрой. Взрывная волна сообщает частичкам порошка высокую скорость полета, которая на расстоянии 75 мм от среза ствола достигает 800 м/с.

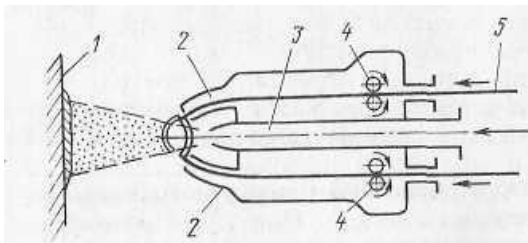


Рис. 15.2. Схема электродугового металлизатора:
1 - напыляемая поверхность; 2 - направляющие наконечники; 3 - воздушное сопло; 4 - механизм подачи проволоки; 5 - проволока

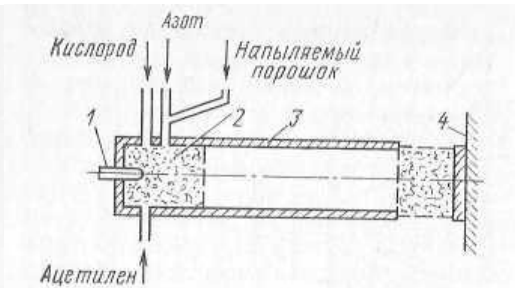


Рис. 15.3. Схема детонационного напыления:
1 - электрическая свеча; 2 - камера; 3 - ствол; 4 - напыляемая поверхность

После нанесения каждой дозы порошка ствол аппарата продувается азотом для удаления продуктов сгорания. Этот процесс повторяется автоматически с частотой 3... 4 раза в секунду. За один цикл на поверхность детали наносится слой металла толщиной до 6 мкм.

Преимуществами этого способа напыления являются большая производительность процесса (при диаметре ствола 20... 25 мм за 15 с можно нанести покрытие толщиной до 0,3 мм на площади до 5 см²), высокая прочность сцепления покрытия с поверхностью детали, невысокая температура на поверхности детали (не более 200 °С).

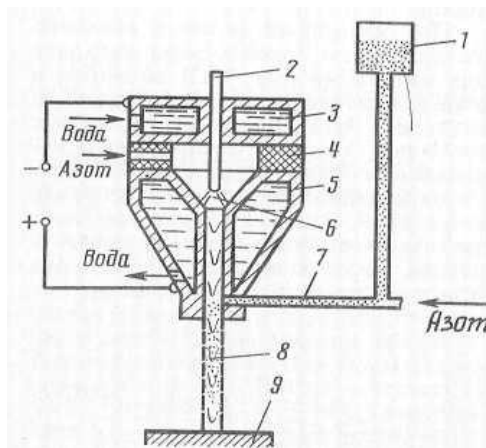


Рис. 15.4. Схема плазменного напыления:
1 - порошок дозатор; 2 - вольфрамовый катод; 3 - рубашка водяного охлаждения; 4 - изоляционная прокладка; 5 - сопло плазмоторна (анод); 6 - электрическая дуга; 7 - трубка подачи порошка; 8 - металлоплазменная струя; 9 - напыляемая поверхность

К недостаткам процесса относят высокий уровень шума (до 140 дБ), что обуславливает необходимость выполнения работ по нанесению покрытий в специальной звукопоглощающей камере. Плазменное напыление. Для расплавления и переноса металла на поверхность детали здесь используются тепловые и динамические свойства плазменной струи (рисунок 9.4). В качестве плазмообразующего газа применяют азот, который дает температуру 10000... 15000°С.

Напыляемый материал в виде порошка вводится в сопло плазмоторна из дозатора при помощи транспортирующего газа (азота). Дозатор определяет расход порошка и, следовательно, производительность процесса напыления. Расход порошка можно плавно регулировать в пределах от 3 до 12 кг/ч. Попадая в плазменную струю, металлический порошок расплавляется и, увлекаемый плазменной струей, на носится на поверхность детали, образуя покрытие.

Основными преимуществами плазменного напыления являются высокая производительность процесса (до 12 кг/ч), более высокие, чем при других способах напыления, физико-механические свойства покрытия (например, износостойкость в 1,5...2 раза выше, чем у закаленной стали 45), возможность нанесения покрытий из любых сплавов толщиной от 0,1 до 10 мм, полная автоматизация процесса напыления. Прочность сцепления покрытия с деталью выше, чем при других способах напыления, но она все же не превышает 400...450 кгс/см² при испытании на отрыв.

9.2 Напыляемые материалы

В качестве напыляемых материалов при восстановлении автомобильных деталей применяют проволоку или порошковые сплавы. При газоплазменном и электродуговом напылении обычно используется проволока. Среднеуглеродистую проволоку применяют при восстановлении посадочных поверхностей на стальных и чугунных деталях. Для деталей, работающих в условиях трения, рекомендуется

применять стальную проволоку с повышенным содержанием углерода.

При плазменном и детонационном напылении применяют порошковые сплавы. Для получения износостойких покрытий рекомендуется применять порошковые сплавы на основе никеля или более дешевые сплавы на основе железа с высоким содержанием углерода. Сплавы на основе никеля обладают высокими технологическими и эксплуатационными свойствами. Наличие в их структуре твердых составляющих (карбидов и боридов) и сравнительно мягкой основы (твердого раствора) позволяет получать покрытия с высокими эксплуатационными свойствами.

Порошковые сплавы на основе никеля (таблицы 9.1 и 9.2) обладают рядом ценных свойств: низкой температурой плавления (950 ... 1050 °С), твердостью HRC₃, 35 ... 60 в зависимости от содержания бора, жидкотекучестью, высокой износостойкостью и свойством самофлюсования благодаря наличию в составе бора и кремния, которые активно отнимают кислород от окислов. Основной их недостаток - высокая стоимость, которая снижает эффективность применения этих сплавов при восстановлении деталей.

Таблица 9.1 - Порошковые сплавы для напыления на основе Никеля (но ГОСТ 21448- 75)

Марка порошка	Химический состав, % (по массе)					Твердость HRC ₃
	Железо	Хром	Кремний	Углерод	Бор	
ПГ-СР2	< 5.0	12...15	2,0...3,0	0,2...0,5	1,5...2,1	>35
ПГ-СР3	< 5.0	13,5...16,5	2,5...3,5	0,4...0,7	2,0...2,8	>45
ПГ-СР4	< 5.0	15...18	3,0...4,5	0,6...1,0	2,8...3,8	>55

Таблица 9.2 - Порошки самофлюсующихся сплавов на основе никеля производства НПО «Тулачермет»

Марка порошка	Химический состав, % (но массе)				Твердость HRC ₃
	Хром	Кремний	Бор	Железо	
ПР-Н80Х13С2Р	12...14	2,0...2,8	1,2...1,6	<5	25...35
ПР-Н77Х15С3Р2	14...16	2,8...3,5	1,8...2,3	<5	35...45
ПР-Н73Х16С3Р3	15...17	2,7...3,7	2,3...3,0	<5	>45
ПР-Н70Х17С4Р4	16...18	3,8...4,5	3,1...4,0	<5	>55
ПР-Н67Х18С5Р5	16...19	4...5	4,0...4,7	<5	>60
ПР-Н65Х25С3Р3	23...26	2,1...2,3	2...3	<5	>45
ПР-Н68Х21С5Р	20...27	4...5	1,0...1,3	<5	>40

Примечания. 1. Варианты грануляции порошков (мкм): 20...63; менее 40; 80...160; 100...280; 40... 100.
2. В состав порошков входит углерод 0,4... 1,5%.

Таблица 9.3 - Порошки на основе никеля, применяемые в качестве подслоя при напылении (но ТУ 14-1-3282-81 НПО «Тулачермет»)

Марка порошка	Химический состав, % (но массе)		Температура плавления, °С	Твердость HRC ₃	Прочность сцепления, кгс/см ²
	Титан	Алюминий			
ПН-70Ю30	—	28...33	1600	>40	300...350
ПН-85Ю15	—	12...15	1400	>40	400...450
ПН-55Т45	43...47	—	1240	50...60	450...500

Сплавы на основе железа с высоким содержанием углерода типа ПГ-С1 (Сормайт-1) имеют высокую твердость (HRC3 56... 63), высокую износостойкость, недефицитны, но более тугоплавки (1250... 1300 °С) и не обладают свойством самофлюсования.

При восстановлении посадочных поверхностей под подшипники в чугунных корпусных деталях применяют стальной порошок ПЖ-5М с добавкой 1 ... 2% порошка алюминия АКП.

Для повышения прочности сцепления покрытия с поверхностью детали рекомендуется напылять подслои из порошков, состав и свойства которых приведены в таблице 9.3.

9.3 Технологический процесс напыления

Процесс нанесения покрытий включает подготовку детали к напылению, нанесению покрытий и обработку детали после напыления. Подготовка детали к напылению служит для обеспечения прочного сцепления покрытия с поверхностью детали. Она включает в себя обезжиривание и очистку детали от загрязнений, механическую обработку и создание шероховатости на поверхности детали.

При механической обработке с поверхности детали снимают слой металла, чтобы после окончательной обработки напыленной детали на ее поверхности оставалось покрытие толщиной не менее 0,5 ... 0,8 мм.

Таблица 9.4 - Режимы газопламенного и электродугового напыления

Режим обработки	Газопламенное напыление	Электродуговое напыление
Расстояние напыления, мм	100...150	75...1000
Скорость вращения детали, м/мин	10...15	15...20
Продольная подача аппарата, мм/об	1,5...2	1,5...2
Диаметр проволоки, мм	1,5...3	1,5...2,5
Сила тока, А	—	120...180
Напряжение, В	—	25...30
Скорость подачи проволоки, м/мин	4,5...6	2...3
Производительность напыления, кг/ч	2...3	6...8
Давление сжатого воздуха, кгс/см ²	3...5	5...6
» ацетилен, кгс/см	0,1...0,6	—
» кислорода, кгс/см ²	3...5	—

Таблица 9.5- Режимы плазменного напыления цилиндрических поверхностей

Режим обработки	Наружные поверхности	Внутренние поверхности
Сила тока, А	300... 350	260... 300
Напряжение, В	70... 80	70... 80
Плазмообразующий газ	Азот	Азот
Расход азота, л/мин	25... 30	28... 30
Расход транспортирующего газа (азота), л/мин	2,5... 3	3... 5
Расстояние напыления, мм	125... 150	150
Диаметр сопла плазмотрона, мм	5... 6	5... 6
Напыляемый материал	ПГ-СР3 ПГ-СР4	ПЖ-5М
Размер гранул порошка, мкм	50... 100	100... 160
Расход порошка, кг/ч	6... 8	6...8
Скорость вращения детали, м/мин	15...20	10...15
Продольная подача плазмотрона, м/мин	0,3...0,5	0,3...0,4

Для получения на поверхности детали необходимой шероховатости ее подвергают дробеструйной обработке или накатывают (зубчатым роликом). Дробеструйную обработку производят в специальных камерах чугунной колотой дробью ДЧК-1,5 при режиме: расстояние от сопла дробеструйного аппарата до детали 25 ... 50 мм, давление сжатого воздуха 5... 6 кгс/см², угол наклона струи к поверхности детали 45°, время обработки 2 ... 5 мин.

Накатку для создания шероховатости применяют при восстановлении деталей с твердостью не более ИВ 400. Нанесение покрытия на поверхность детали производится на переоборудованных токарных станках или в специальных камерах. При напылении на токарных станках деталь устанавливают в патроне станка, а металлизационный аппарат на суппорте. При использовании специальных камер они должны иметь соответствующие механизмы для взаимного перемещения детали и металлизатора. Пост напыления оборудуют вытяжной вентиляцией.

Качество покрытия и производительность процесса в значительной степени зависят от режима напыления (таблицы 9.4 и 9.5).

После нанесения покрытия деталь медленно охлаждают до температуры окружающей среды и обрабатывают покрытие до требуемого размера. Требуемая точность и шероховатость поверхности деталей достигается шлифованием.

9.4 Оборудование, применяемое при напылении

При напылении металла на детали применяют специальные аппараты и установки. Для газоплазменного напыления используют аппараты МГИ-1-57 и ГИМ-1 (таблица 9.6).

При электродуговом напылении наибольшее применение нашли аппараты ЭМ-9 (ручной) и ЭМ-6, МЭС-1 (станочные), характеристика которых приведена в таблице 9.7.

При плазменном напылении применяют специальные установки, которые включают в себя пульт управления: плазмотрон, порошок дозатор и источник питания. Наиболее широкое применение получили два типа установок для плазменного напыления: УПУ-ЗД и УМП-5 (таблица 9.8).

На посту напыления устанавливаются также специальные стелды-камеры с механизмами вращения детали и перемещения аппарата для напыления. На рисунке 9.5 показан стелд-камера для плазменного напыления цилиндрических деталей.

Таблица 9.6 - Аппараты для газопламенного напыления

Показатели	МГИ-1-57	ГИМ-1
Производительность при напылении стали, кг/ч	3	1...1,5
Диаметр проволоки, мм	1,5...3,0	1...2
Масса аппарата, кг	2	2,6
Давление сжатого воздуха, кгс/см ²	4...5	4...5
Расход сжатого воздуха, м ³ /мин	,7	0,65
Давление ацетилена, кгс/см	0,1...0,6	0,1...0,6
Расход ацетилена, л/ч	240...840	250...300
Давление кислорода, кгс/см ²	2...7	2,5...3,0
Расход кислорода, л/ч	625...2100	250...800
Привод механизма подачи проволоки	Воздушная турбина	Воздушная турбина
Максимальная скорость подачи проволоки, м/мин	6	4,5
Частота вращения вала воздушной турбины, об/мин	20000	24000

Таблица 9.7 - Аппараты для электродугового напыления

Показатели	ЭМ-9	ЭМ-6	МЭС-1
Производительность при напылении стали, кг/ч	5	12	14
Диаметр проволоки, мм	1,2...2	1,5...2,5	1,5...2,5
Масса аппарата, кг	1,9	21	23
Максимальный ток, А	150	300	300
Напряжение, В	20...30	25...30	25...30
Рабочее давление воздуха, кгс/см ²	4...6	4...5	5...6
Расход воздуха, м ³ /мин	1,1	0,8...0,9	0,7...0,9
Привод механизма подачи проволоки	Воздушная турбина	Электро-двигатель	Электро-двигатель
Скорость подачи проволоки, м/мин	1,5...3,5	0,75...4,5	0,75...4,5

Таблица 9.8 - Установки для плазменного напыления

Показатели	УПУ-3Д	УМП-5
Производительность по напылению, кг/ч	3...12	5...8
Мощность установки, кВт	35...40	30
Плазмообразующий газ	Азот	Азот
Масса установки, кг	900	120
Объем бачка дозатора, л	5	5
Максимальный ток, А	600	400
Рабочее напряжение, В	70...90	85...95
Расход азота, л/мин	30...40	25...35
Рабочее давление азота, кгс/см ²	3...4	3...4
Давление охлаждающей воды, кгс/см ²	3...4	3,4...3,5
Расход охлаждающей воды, л/мин	3...4	3...3,5
Источник питания	ИПН1 60/600	ИПН1 60/600

9.5 Плазменное напыление с последующим оплавлением покрытия

Свойства напыленных покрытий могут быть значительно улучшены путем введения в технологический процесс восстановления деталей сравнительно

простой операции оплавления покрытия. При этом плавится лишь наиболее легкоплавкая составляющая сплава. Металл детали лишь подогревается, но остается в твердом состоянии. Жидкая фаза способствует более интенсивному протеканию диффузионных процессов. В результате оплавления значительно повышается прочность сцепления покрытия с деталью, увеличивается механическая прочность, исчезает пористость, повышается износостойкость.

Оплавление покрытия может быть произведено ацетилено-кислородным пламенем, плазменной струей, токами высокой частоты и в нагревательных печах. Хорошие результаты дает оплавление токами высокой частоты, так как при этом обеспечивается локальный нагрев, не нарушающий термообработки всей детали.

В том случае, когда общий нагрев детали и оплавление покрытия производят в песчаной форме в электрической нагревательной печи, деталь почти не деформируется.

К сплавам, подвергающимся оплавлению, предъявляют следующие требования: температура плавления легкоплавкой составляющей сплава должна быть не выше 1000... 1100 °С, в оплавленном состоянии они должны хорошо смачивать подогретую поверхность детали и обладать свойством самофлюсования, т.е. содержать флюсующие элементы.

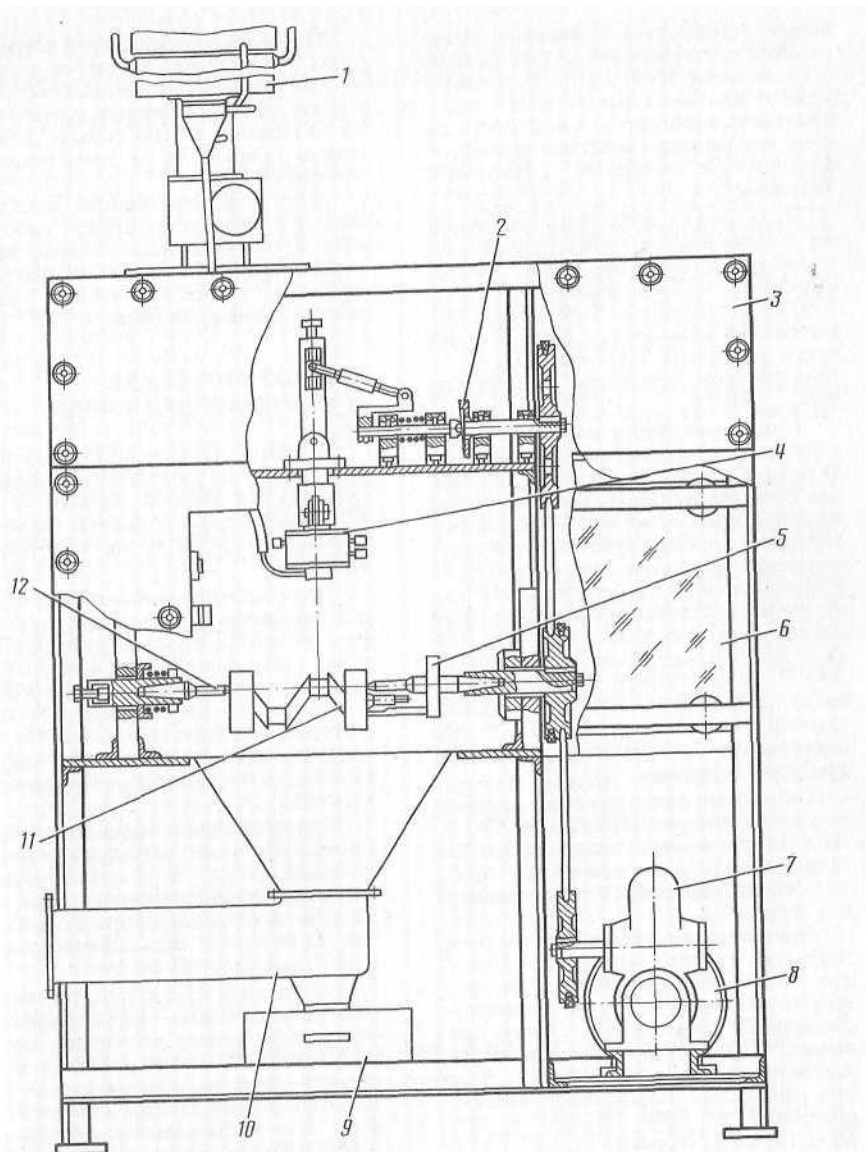


Рис. 15.5. Стенд-камера для напыления наружных цилиндрических поверхностей деталей:
 1 – порошковый дозатор; 2 – механизм привода плазмотрона; 3 – камера для напыления; 4 – плазмотрон; 5 – передняя бабка; 6 – стекло защитное; 7 – редуктор; 8 – электродвигатель; 9 – ящик для порошка; 10 – улавливатель порошка; 11 – деталь; 12 – задняя бабка

Практически всем этим требованиям в полной мере удовлетворяют порошковые сплавы на основе никеля, имеющие температуру плавления 980... 1050 °С и содержащие флюсующие элементы (бор и кремний), а также 50%-ная смесь порошков ПГ-СР3 и ПГ-С1 с температурой плавления в интервале 1080...1100°С.

Технологический процесс восстановления деталей с оплавлением покрытия включает в себя: шлифование деталей для обеспечения правильной геометрической формы восстанавливаемой поверхности; дробеструйную обработку; нанесение покрытия при режиме, рекомендованном для плазменного напыления; оплавление покрытия на установке т.в.ч. (частота тока 75... 100 кГц, зазор между деталью и индуктором 5 ... 6 мм, частота вращения детали 15... 20 об/мин, сила тока высокой ступени генератора т. в. ч. 5... 8 А); шлифование поверхности детали до требуемого размера.

Оплавление покрытия из сплавов на основе никеля ПГ-СР2, ПГ-СР3 и ПГ-СР4 имеют следующие свойства:

макротвердость покрытий HRC₃, 35 ... 60 в зависимости от содержания в них бора;

благодаря присутствию в структуре покрытий твердых кристаллов (боридов и карбидов) значительно повышается износостойкость (при напылении сплавом ПГ-СР4 она в 2... 3 раза превышает износостойкость стали 45, закаленной до твердости HRC₃, 54... 58, а при напылении порошковой смесью, состоящей из 50% ПГ-СР4 и 50% ПГ-С1, - в 5... 10 раз);

прочность сцепления покрытия с поверхностью стальных деталей превышает в 8... 10 раз и составляет 4000... 4500 кгс/см²;

усталостная прочность деталей после оплавления покрытия повышается на 20...25%, что

объясняется упрочняющим влиянием покрытия.

Плазменное напыление с последующим оплавлением покрытия является весьма перспективным способом восстановления деталей, так как позволяет вернуть им не только свойства новых деталей, но и значительно их улучшить.

Этим способом можно восстанавливать поверхности деталей, работающих в условиях значительных знакопеременных и контактных нагрузок (кулачки распределительных валов, шейки коленчатых валов и др.).

При плазменном напылении наиболее вредными для здоровья работающих являются шум, загрязнение воздуха, ультрафиолетовые и инфракрасные излучения. Шум плазменной струи в непосредственной близости от плазмотрона достигает 115 ... 120 дБ. Для защиты оператора от шума рекомендуется покрытия наносить в специальных камерах.

При плазменном напылении воздух помещения может загрязняться металлической пылью, аэрозолями обрабатываемых материалов и окислами азота. Для защиты оператора в этом случае также служат специальные камеры с местным отсосом воздуха.

Плазменная струя является интенсивным источником инфракрасного и ультрафиолетового излучения, поэтому оператор должен работать в защитной маске со светофильтром. Металлизационные камеры также оборудуют соответствующими светофильтрами. Руки от излучения защищаются рукавицами из асбестовой ткани.

Требования к технике безопасности при газоплазменном и электродуговом напылении предъявляются те же, что и при выполнении работ по газовой и электродуговой сварке.